

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Maestría en Diseño Industria y de Procesos

Selección de Materiales Compuestos de Fibra Natural y Matriz Poliéster, para los paneles
internos de la compuerta delantera de un vehículo

Diego Hernán Tuárez Navarrete

Director: Ing. Jaime Vinicio Osejos Molina, Msc.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Declaración Juramentada

Yo, DIEGO HERNÁN TUÁREZ NAVARRETE, con cédula de identidad 1725861593, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

DIEGO HERNÁN TUÁREZ NAVARRETE

C.I.: 172586159-3

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción	15
1.1.	Problemática.....	17
1.2.	Justificación	20
1.3.	Objetivo General.....	24
1.4.	Objetivos Específicos.....	24
1.5.	Estado del Arte.....	25
1.5.1.	Sector Automotriz y materiales compuestos con Fibra natural.....	25
1.5.2.	Autopartes elaboradas a base de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica	27
1.5.3.	Panel Interno de la Compuerta de un Vehículo.....	29
1.5.4.	Materiales Compuestos	32
1.5.5.	Importancia de los Materiales Compuestos Reforzados con Fibra Natural	35
1.5.6.	Producción de Fibra en el Ecuador e Importancia de generar Valor agregado al desperdicio vegetal.....	37
1.5.7.	Estudios previos sobre la caracterización mecánica de materiales compuestos reforzados con fibra producida en Ecuador por medio de estratificación manual.....	41
1.5.8.	Métodos de Selección Multicriterios (MCDM)	47
2.	Método.	50
2.1.	Tipo de Estudio	50
2.2.	Modalidad y Técnicas de Recolección de datos en la Investigación.	50
2.3.	Metodología.	51

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

2.4.	Aplicación de la Metodología Prisma para la selección de Literatura	51
2.5.	Propiedades de los Materiales Candidatos.....	53
2.6.	Ponderación de criterios de selección	55
2.7.	Método de Entropía.....	56
2.8.	Métodos de Selección Multicriterios (MCDM).....	57
2.8.1.	Método COPRAS	58
2.8.2.	Método VIKOR.....	60
2.8.3.	Método TOPSIS	62
2.9.	Simulación Estática.....	64
2.9.1.	Selección del Material.....	65
2.9.2.	Elaboración del Modelo CAD.....	65
2.9.3.	Condiciones de Contorno	66
2.9.4.	Análisis Estático	67
2.10.	Análisis de Frecuencia	75
2.11.	Validación de Resultados.....	75
2.12.	Simulación Dinámica	76
3.	Resultados	77
3.1.	Metodología Prisma.	77
3.2.	Cálculos para la selección del material para el panel de la compuerta de un auto.	78
3.3.	Método de Entropía para la ponderación de los pesos en los criterios.	80

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

3.4.	Métodos Multicriterios MCDM.....	84
3.4.1.	Método COPRAS.....	84
3.4.2.	Método VIKOR.....	91
3.4.3.	Método TOPSIS.....	95
3.5.	Resultados en la Selección Multicriterio.	99
3.6.	Simulación Estática.....	100
3.6.1.	Análisis de Deformación Solid Works.....	100
3.6.2.	Análisis de Deformación Altaír Inspire.	106
3.6.3.	Análisis de Von Mises Solid Works (Fibra de Cabuya).	111
3.6.4.	Análisis de Von Mises Solid Works (Material Original ABS).	117
3.6.5.	Análisis de Von Mises Altaír Inspire (Fibra de Cabuya).	119
3.6.6.	Análisis de Von Mises (Material ABS).....	121
3.7.	Análisis de Frecuencia.	123
3.7.1.	Análisis de Frecuencia en Solid Works (Fibra de Cabuya)	123
3.7.2.	Análisis de Frecuencia en Solid Works (Material ABS).....	124
3.7.3.	Análisis de Frecuencia Altaír Inspire (Fibra Cabuya).....	124
3.7.4.	Análisis de Frecuencia Altaír Inspire (Material ABS)	124
4.	Análisis y discusión de resultados.....	125
5.	Conclusiones.	129
6.	Referencias Bibliográficas.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Nueve de los sectores de aplicación más comunes de los materiales compuestos..</i>	21
Figura 2. <i>Mercedes-Benz clase S y sus partes en base de Material Compuesto.....</i>	22
Figura 3. <i>Componentes Elaborados con Fibras Vegetales en Automóviles</i>	26
Figura 4. <i>Autopartes elaboradas con plástico o materiales compuestos de matriz polimérica</i>	28
Figura 5. <i>Panel Interno de la compuerta de un auto de material compuesto con fibra de</i> <i>cáñamo y matriz polimérica.....</i>	29
Figura 6. <i>Panel interior (anterior / delantero) de la compuerta de un vehículo con sus</i> <i>elementos.....</i>	30
Figura 7. <i>Panel interior de la puerta posterior de un vehículo junto con sus elementos</i>	31
Figura 8. <i>Componentes de un Material Compuesto.....</i>	33
Figura 9. <i>Clasificación de los Materiales Compuestos.....</i>	34
Figura 10. <i>Productos elaborados con plantas de Fibras</i>	39
Figura 11. <i>Probetas de Tracción con fibra de banano tratadas.....</i>	43
Figura 12. <i>Placa de Material Compuesto con tejido de Yute</i>	44
Figura 13. <i>Probetas de flexión de material compuesto de Fibra de Coco</i>	44
Figura 14. <i>Material compuesto con refuerzo de fibra de piña.....</i>	45
Figura 15. <i>Probetas de flexión para probetas reforzadas con fibra de abacá en tejido tipo</i> <i>satín.....</i>	46
Figura 16. <i>Probetas para ensayos de Flexión con refuerzo de fibra tejida de Cabuya.....</i>	47
Figura 17. <i>Diagrama de Flujo en la Simulación Estática.</i>	65

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 18. <i>Módelo CAD del panel Interno de la compuerta de un automóvil.....</i>	66
Figura 19. <i>Zonas de acción de la carga en el panel interno del vehículo</i>	66
Figura 20. <i>Activación del módulo de simulación y selección del análisis estático.....</i>	68
Figura 21. <i>Fuerzas aplicadas en la cintura con magnitud de 300 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.....</i>	68
Figura 22. <i>Fuerzas aplicadas en la botonera y asidero de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.....</i>	68
Figura 23. <i>Fuerzas aplicadas al cierre de compuerta de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.....</i>	69
Figura 24. <i>Fuerzas aplicadas en la bolsa del panel de 200 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.....</i>	69
Figura 25. <i>Malla del elemento con el tipo de mallado basado en curvatura de combinado ..</i>	70
Figura 26. <i>Mallado con calidad baja con un coeficiente de aspecto elevado</i>	70
Figura 27. <i>Zonas en donde se aplicó un control de malla</i>	71
Figura 28. <i>Mallado del Elemento con un control de malla en las zonas donde se presenta coeficiente de aspecto elevado</i>	71
Figura 29. <i>Fuerzas aplicadas en la cintura con magnitud de 300 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel dentro del Software Inspire.</i>	73
Figura 30. <i>Fuerzas aplicadas al cierre de compuerta de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel en el Software Inspire.</i>	73
Figura 31. <i>Fuerzas aplicadas en la botonera y asidero de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel Software Inspire.</i>	73

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 32. <i>Fuerzas aplicadas en la bolsa del panel de 200 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.....</i>	74
Figura 33. <i>Procesos de Selección Bibliográfica mediante la Metodología PRISMA.</i>	78
Figura 34. <i>Propiedades del compuesto de fibra de Cabuya en la librería de Solid Works .</i>	101
Figura 35. <i>Simulación deformación Máxima (Botonera / Asidero) Solid Works (Fibra de Cabuya).</i>	101
Figura 36. <i>Deformación Máxima en Cintura Solid Works (Fibra de Cabuya).</i>	102
Figura 37. <i>Deformación Máxima (Cierre Puerta) Solid Works (Fibra de Cabuya).</i>	102
Figura 38. <i>Deformación Máxima en Bolsa Solid Works (Fibra de Cabuya).</i>	102
Figura 39. <i>Propiedades del Material ABS en la librería de Solid Works</i>	103
Figura 40. <i>Simulación deformación Máxima (Botonera / Asidero) Solid Works (ABS).</i>	104
Figura 41 . <i>Simulación deformación Máxima en Cintura Solid Works (ABS).</i>	104
Figura 42. <i>Simulación deformación Máxima Cierre Puerta Solid Works (ABS).</i>	105
Figura 43. <i>Simulación deformación Máxima en Bolsa Solid Works (ABS).</i>	105
Figura 44. <i>Parámetros de la Fibra de Cabuya y Material ABS en la biblioteca de Inspire.</i>	106
Figura 45. <i>Simulación deformación Máxima (Botonera / Asidero) Altaír Inspire (Fibra de Cabuya).</i>	106
Figura 46. <i>Simulación deformación Máxima Cintura Altaír Inspire (Fibra de Cabuya).</i>	107
Figura 47. <i>Simulación deformación Máxima Cierre puerta Altaír Inspire (Fibra de Cabuya).</i>	107
Figura 48. <i>Simulación deformación Máxima de Bolsa Altaír Inspire (Fibra de Cabuya). ..</i>	108
Figura 49. <i>Simulación deformación Máxima (Botonera / Asidero) Altaír Inspire (ABS).</i>	108

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 50. <i>Simulación deformación Máxima Cintura Altaír Inspire (ABS).</i>	109
Figura 51. <i>Simulación deformación Máxima Cierre Puerta Altaír Inspire (ABS).</i>	109
Figura 52. <i>Simulación deformación Máxima de Bolsa Altaír Inspire (ABS).</i>	110
Figura 53. <i>Mallado con calidad de borrador.</i>	112
Figura 54. <i>Ubicación de la Zona de Esfuerzo Máximo.</i>	112
Figura 55. <i>Condiciones Iniciales de Mallado.</i>	113
Figura 56. <i>Control de Malla en la Zona de Acción del Esfuerzo Máximo de Von Mises. ...</i>	113
Figura 57. <i>Convergencia de Resultados con Tamaño de malla de 2,5 mm</i>	114
Figura 58. <i>Segundo Control de Malla con un tamaño de 2,5.</i>	115
Figura 59. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	115
Figura 60. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises en cintura Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	116
Figura 61. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Cierre Puerta Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	116
Figura 62. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	116
Figura 63. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Botonera-Asidero ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	117
Figura 64. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Cintura ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	117
Figura 65. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Cierre Puerta ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	118

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 66. <i>Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa Material ABS con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm</i>	118
Figura 67. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Botonera-Asidero Fibra Cabuya)</i>	119
Figura 68. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cintura Fibra Cabuya)</i>	120
Figura 69. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cierre Puerta Fibra Cabuya)</i>	120
Figura 70. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Bolsa Panel Fibra Cabuya)</i>	121
Figura 71. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Botonera-Asidero Material ABS)</i>	121
Figura 72. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cintura Material ABS)</i>	122
Figura 73. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cierre Puerta Material ABS)</i>	122
Figura 74. <i>Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Bolsa del Panel Material ABS)</i>	123
Figura 75. <i>Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel Fibra Cabuya (Solid Works)</i>	123
Figura 76. <i>Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Material ABS (Solid Works)</i>	124
Figura 77. <i>Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel Fibra Cabuya (Altair Inspire)</i>	124
Figura 78. <i>Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel ABS (Altair Inspire)</i>	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades de algunas fibras Vegetales</i>	37
Tabla 2 <i>Registro de familias de plantas vasculares en la zona Andina en región de países de Ecuador, Perú y Bolivia</i>	38
Tabla 3 <i>Distribución por categoría para el uso de plantas de fibra registrada en los Andes de Ecuador, Perú y Bolivia.</i>	39
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de la Celulosa en la fibra.</i>	40
Tabla 5. <i>Influencia de Celulosa, Hemicelulosa, Lignina en la fibra</i>	41
Tabla 6 <i>Palabras claves y Bases de datos Bibliográficos</i>	52
Tabla 7 <i>Bibliografía Encontrada en la Base de Datos Establecida</i>	53
Tabla 8 <i>Criterios de Selección de los Materiales Candidatos</i>	54
Tabla 9 <i>Materiales Candidatos con la fuente bibliográfica de su selección</i>	55
Tabla 10 <i>Parámetros de Aplicación de Carga</i>	67
Tabla 11 <i>Procesamiento de fuentes bibliográficas en varias fuentes de información.</i>	77
Tabla 12 <i>Matriz de Decisión Estándar.</i>	79
Tabla 13 <i>Criterios de Selección de Carácter Positivo y Negativo.</i>	79
Tabla 14 <i>Matriz de Decisión Normalizada.</i>	80
Tabla 15 <i>Valores de Entropía E_i.</i>	81
Tabla 16 <i>Diversidad de Criterio (D_j).</i>	82
Tabla 17 <i>Pesos de Normalizados de Criterios W_j.</i>	84
Tabla 18 <i>Matriz de Decisión Normalizada (X_{ij}^*).</i>	84
Tabla 19 <i>Matriz de decisión Normalizada de Pesos D_{ij}.</i>	85
Tabla 20 <i>Valores Beneficiosos y No Beneficiosos</i>	88

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 21 <i>Importancia Relativa de las Alternativas Q_i</i>	89
Tabla 22 <i>Proximidad Relativa a la ideal (P_i) y Ranking (COPRAS)</i>	90
Tabla 23 <i>Matriz de Decisión Normalizada (VIKOR)</i>	91
Tabla 24 <i>Mejor valor de (f_i^{+*})</i>	92
Tabla 25 <i>Peor valor de (f_i^{-})</i>	92
Tabla 26 <i>Valores de (S_i)</i>	93
Tabla 27 <i>Solución Ideal Positiva (S_i)</i>	93
Tabla 28 <i>Valores Máximo y Mínimos de (S_i)</i>	93
Tabla 29 <i>Máximo (R_i)</i>	94
Tabla 30 <i>Mínimo (R_i)</i>	94
Tabla 31 <i>Solución de Valores (I_i)</i>	94
Tabla 32 <i>Ranking de Ponderación de los materiales (VIKOR) _ (I_i)</i>	95
Tabla 33 <i>Matriz de decisión Inicial con Pesos de Criterios W_i</i>	95
Tabla 34 <i>Tabla de decisión normalizada ponderada</i>	96
Tabla 35 <i>Determinación alternativas ideales positivas y alternativas ideales negativas</i>	97
Tabla 36 <i>Distancia alternativa ideal positiva y distancia alternativa ideal negativa</i>	98
Tabla 37 <i>Proximidad Relativa a la Alternativa</i>	98
Tabla 38 <i>Ponderación de selección (TOPSIS)</i>	98
Tabla 39 <i>Resumen de Resultados de Selección MCDM</i>	99
Tabla 40 <i>Resumen de Resultados variando el tamaño de malla del Segundo Refinamiento</i>	114
Tabla 41 <i>Resumen Resultados</i>	126
Tabla 42 <i>Resumen de Resultados de Frecuencia en los nueve modos de vibrar del panel</i>	127

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Resumen

La humanidad busca materiales con mejores propiedades los cuales no solo sean capaces de satisfacer criterios técnicos sino también ambientales, llevando a pensar en la utilización de materiales compuestos, específicamente aquellos que tienen un refuerzo vegetal con matriz polimérica, no solo por la facilidad de procesamiento, sino también por las buenas propiedades mecánicas y su empatía con el medio al tener una fase dispersa vegetal. Considerando a Ecuador como un país con un gran número de especies vegetales vasculares dicha investigación se centra en la selección por medio de herramientas multicriterios de trabajos previos elaborados sobre caracterización mecánica de materiales compuestos de matriz polimérica y refuerzo vegetal, con la finalidad de dar una aplicabilidad a los mismos. Dicha investigación se enfoca en el campo automotor debido a las exigencias mecánicas que se pueden solventar con un material compuesto en dicho campo, sino también por las estrictas regularizaciones que muchos países imponen a este sector para que más del 80% del auto sea reutilizable o amigable con el medio, teniendo así el panel interno del vehículo dado que es una autoparte la cual no está sometida a grandes cargas y se lo fabrica con materiales poliméricos, con lo cual se utiliza métodos de selección MCDM (Topsis, Vikor y Copras), con una ponderación de criterios objetiva con el método de Entropía para los diversos estudios seleccionados con la metodología prisma, teniendo como ganador al material compuesto con Fibra de Cabuya con excelentes resultados en simulación estática al tener deformaciones menores a 4 mm en zonas críticas de acción de cargas estáticas, en ciertas partes del panel de la compuerta de un auto y presentar mejores resultados en comparativa con el material más utilizado en la elaboración de los paneles internos de un auto.

Palabras Clave:

Materiales Compuestos, MCDM, Ecuador, Fibra, Automotor, Simulación.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Abstract

Humanity looks for materials with better properties which are not only capable of satisfying technical but also environmental criteria, leading to think about the use of composite materials, specifically those that have a plant reinforcement with a polymeric matrix, not only for the ease of processing, but also due to its good mechanical properties and its empathy with the environment as it has a dispersed plant phase. Considering Ecuador as a country with a large number of vascular plant species, this research focuses on the selection by means of multicriteria tools of previous works elaborated on mechanical characterization of composite materials of polymeric matrix and plant reinforcement, in order to give an applicability to them. This research focuses on the automotive field due to the mechanical requirements that can be solved with a composite material in this field, but also due to the strict regulations that many countries impose on this sector so that more than 80% of the car is reusable or friendly with the medium, thus having the internal panel of the vehicle since it is an auto part which is not subjected to great loads and is manufactured with polymeric materials, with which MCDM selection methods (Topsis, Vikor and Copras) are used, with An objective weighting of criteria with the Entropy method for the various studies selected with the prism methodology, having as the winner the composite material with Cabuya Fiber with excellent results in static simulation by having deformations of less than 4 mm in critical areas of load action static, in certain parts of the door panel of a car and present better results in comparison with the material more used in the elaboration of the internal panels of a car.

Keywords:

Composite Materials, MCDM, Ecuador, Fiber, Automotive, Simulation.

CAPÍTULO I

1. Introducción.

El pensar en materiales compuestos es hacer referencia en a una combinación de materiales monofásicos de naturaleza diferente, capaz de adoptar las propiedades de sus constituyentes en su composición, adoptando así propiedades superiores a las de su forma independiente (Dávila et al., 2011).

Por dichas consideraciones en la actualidad se puede visualizar el predominio de uso que tiene dichos materiales en el mercado, abarcando así varios sectores industriales.

Los materiales compuestos reforzados por fibra poseen mejores resultados al absorber cargas, considerando que las mismas pueden ser de origen vegetal o sintética, es de recalcar que el uso de fibras de origen natural como elemento de refuerzo en una matriz polimérica ofrece una variedad de ventajas como su reducción de costo de elaboración y su impacto ambiental (Restrepo, Arroyave, & Vásquez, 2016).

Con lo cual el presente trabajo de investigación es impulsado por la necesidad de generar una aplicabilidad industrial a estudios previos de caracterización mecánica de materiales compuestos de fibra vegetal y matriz polimérica con fibra de especies que se producen en Ecuador para aprovechar la ventaja climática y el gran número de especies vasculares que esto genera. Solucionando así problemáticas presentes en la industria automotriz debido a exigencias mecánicas y exigencias ambientales que exigen que en promedio el 80% del automotor debe tener un carácter reciclable o amigable al medio ambiente (Pradeep, 2018), lo cual se puede solventar con el uso de materiales compuestos con matriz polimérica y fibra vegetal, además de generar una aplicabilidad y valor agregado a investigaciones previas sobre caracterización de

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

dichos materiales elaborados por estratificación manual y compresión en una matriz termoplástica de resina poliéster, debido a la facilidad y la alta aplicabilidad que presenta dicho método en la obtención de materiales compuestos reforzados con fibra (Sileoni, Abrile, & Almandoz, 2011).

Teniendo como objetivo seleccionar un material para el panel interno de la compuerta de un automóvil que reemplace al original, debido a que dicha autoparte no se encuentra sometido a grandes cargas y son elaborados de materiales plásticos los cuales pueden ser reemplazados por materiales compuestos de matriz polimérica (Obis, 2015). Considerando así materiales candidatos aquellos que tienen un refuerzo de fibra y matriz poliéster debido a su fácil procesamiento, el cual será seleccionado por medio de métodos multicriterios (MCDM) como: VIKOR, TOPIS, COPRAS, apoyándose de una ponderación de criterios por medio del método de ENTROPIA, todo esto de una selección de estudios posteriores de “Caracterización Mecánica de Materiales Compuestos Reforzados con Fibra y matriz Poliéster “ con vegetación que crece en Ecuador, siendo así la fibra de refuerzo utilizada para dicha ponderación materiales compuestos con refuerzo de: Coco, abacá, banana, sisal, cabuya, yute y piña.

De tal manera que dicha autoparte cumpla parámetros técnicos los cuales estipulan deformaciones permisibles menores a 4 mm en zonas de concentración de carga estática como (asidero, cintura, bolsa, soporte para abrir-cerrar compuerta), los cuales serán evaluados por medio de una simulación computacional, en donde se visualiza el comportamiento del panel de la compuerta interna del auto con material compuesto a ciertos esfuerzos aplicados en zonas puntuales del mismo, además de considerar su comportamiento ante distintos modos de vibrar con un análisis modal de frecuencia y realizando una comparativa con el material original utilizado para dicha autoparte cumpliendo así con necesidades como la preocupación energética

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

de dicho sector y requerimientos que obligan a sus nuevos modelos a ser más amigables al medio ambiente.

1.1. Problemática.

El sector automotriz en la actualidad debe de superar grandes obstáculos, uno de ellos gracias al ocurrido por la crisis energética que se sufrió en la segunda guerra mundial, además de nuevos reglamentos y normativas ambientales los cuales exigen elementos cada vez más amigables al medio, motivo por el cual los fabricantes de dicho sector buscan cada vez componentes más ligeros que ayuden a mejorar el rendimiento del combustible y generar un menor impacto al ecosistema después de su vida útil. Sin perder de vista el apartado técnico que dichos materiales deben cumplir en la autoparte, para garantizar la seguridad y confort del conductor y ocupantes, además de considerar también precios de fabricación que los posicionen en lugares competitivos en el mercado (Holbery & Houston, 2006).

Pensando así en una solución que afecta a cada uno de los elementos que forman parte del automotor, pues el conjunto de las mismas corresponden al peso final del vehículo. Con dicho enfoque se han adoptado distintas alternativas dentro de las cuales destacan el uso de materiales compuestos con matriz polimérica y refuerzo de fibra natural. Esto debido a las propiedades que aportan como su ligereza, excelentes propiedades mecánicas y su apartado amigable al medio ambiente (Al-Oqla, Omari, & Al-Ghraibah, 2017).

Señalando también, el reemplazo cada vez mayor que dichos materiales compuestos con fibra o polvo vegetal tienen con materiales compuestos reforzados con refuerzo sintético como la fibra de vidrio en el sector automotriz, dado que dichos compuestos poseen una densidad relativamente alta comparada con el compuesto de fibra natural aproximadamente un 40 % superior al composite con refuerzo lignocelulósico, además de considerar los peligros potenciales

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

que imprime la fibra de vidrio para la salud y la malas propiedades de reciclaje que tiene las mismas (Pradeep, 2018).

Con lo cual uno de los sectores industriales con mayor interés por el uso de materiales compuestos de fibra vegetal es el sector automotor, debido a que anualmente se utiliza un aproximado de 80 000 toneladas de fibras naturales para poder reforzar paneles termoplásticos o incluso utilizarlos en su carrocería, todo esto por las excelentes propiedades mecánicas que puede aportar la fibra, teniendo buenos resultados en esfuerzos máximos de compresión y tracción además del bajo peso y menor costo que estas imprimen al material. Además de aportar a la industria del automóvil otras ventajas como es:

- Importantes reducciones de peso (hasta un 50%)
- Reducción en costes de fabricación
- Incremento en su resistencia a la abrasión y desgaste
- Excelente comportamiento ante cargas dinámicas
- Mejora en la resistencia a la corrosión
- Aumento en el aislamiento térmico
- Mejora en la aerodinámica
- Flexibilidad de diseño

Corroborando la importancia que aporta el uso de compuestos con refuerzo de fibra vegetal en uso industrial no solo por su bajo coste de elaboración sino también por las excelentes propiedades mecánicas que este aporta además de ser amigable al medio ambiente. Por tal razón la necesidad de motivar al uso y aplicabilidad de dicho tipo de materiales en el campo industrial (Ayorloo, Ghodrat, & Kang, 2021).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

De la misma manera cabe señalar que Ecuador por su clima tropical y variado posee una gama amplia en tipos de plantas vasculares, dentro de las cuales se tiene:

- Cabuya
- Totora
- Abacá
- Paja Toquilla
- Algodón
- Lufa
- Seda
- Bambú
- Mimbre
- Cocos Nucífera

Con lo cual se tendría un gran potencial en el campo de nuevos materiales compuesto con refuerzo de fibra y considerando que en la actualidad en Ecuador el adelanto de materiales compuestos se encuentra en etapas de desarrollo la usabilidad que se le imprime a las fibras es limitado, teniendo así la extracción de fibra un desarrollo muy precario en el país. Esto debido a la falta de estudios de aplicabilidad hacia sectores industriales de la fibra en materiales compuestos y también porque en algunos casos las fibras se han utilizado en productos con un precario valor agregado mientras que en otros sectores solo se ha aprovechado el recurso comestible de las plantas sin considerar siquiera el uso de la parte fibrosa. Dando a pensar que dicho sector no está completamente explotado tomando en cuenta el gran potencial que se tiene y las múltiples ventajas que aporta dicho tipo de material compuesto al sector industrial.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Por lo tanto se ha identificado la necesidad de entregarle una aplicabilidad a los múltiples estudios de caracterización mecánica de materiales compuestos reforzados con fibra natural producida en Ecuador, con la finalidad de aprovechar sus ventajas tanto mecánicas como amigables al medio, además de entregar una investigación que proyecte el valor agregado que se puede dar a este tipo de fibra, específicamente orientado al sector automotor en el diseño de un panel delantero de la compuerta del vehículo, esto debido al ser una autoparte elaborada con materiales plásticos y por su ubicación en el interior del vehículo no está sometida a grandes cargas, haciéndolo idóneo para fabricarlo con un composite lignocelulósico. Debido a las múltiples ventajas que dichos materiales aportan a este sector, entregando así motivación para futuras investigaciones que se enfoquen en otro tipo de usos industriales a estos materiales con fibra vegetal.

1.2. Justificación.

El sector automotriz ha tenido que superar varios retos en los últimos años, debido a las múltiples regularizaciones medioambientales que exigen ha dicho sector al fabricar vehículos cada vez más livianos, seguros y sobre todo que tengan un carácter reciclable o amigable al medio ambiente después del ciclo de vida del automotor.

Reglamentos como el expuesto por la directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo, exigen a dichas empresas a que se reutilice y se recicle la mayor cantidad posible de las autopartes después del ciclo de vida del automóvil, motivo por el cual dichas empresas han empezado a enfatizar el uso de materiales compuestos para sus componentes (Majewski & Błędzki, 2013).

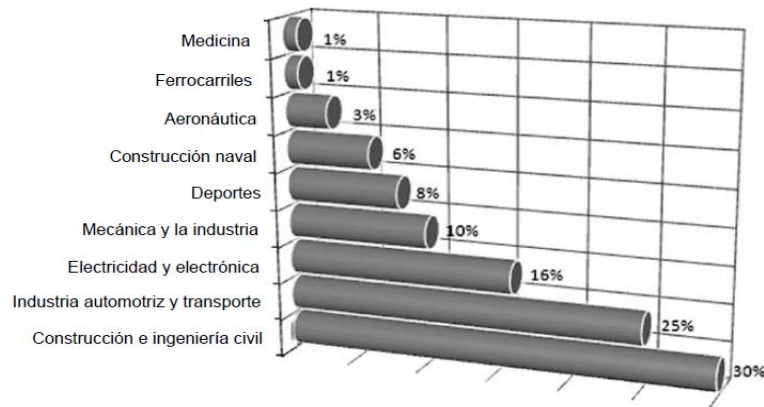
Esto se puede analizar al observar el uso de dichos materiales a nivel industrial en donde existe una distribución de los mismos en sectores como: medicina, aeronáutica, deportes,

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

industria automotriz y transporte entre otras como se ilustra en la Figura 1, visualizándose el gran porcentaje que tienen los materiales compuestos en el sector del transporte y automóvil.

Figura 1.

Nueve de los sectores de aplicación más comunes de los materiales compuestos



Fuente: (Biron, 2013)

La industria automotriz emplea grandes cantidades de materiales compuestos, elaborados principalmente con una fase continua polimérica reforzadas con fibras, los cuales poseen un uso muy variado para usos de interiores y exteriores en vehículos (Guerrero, Dávila, & Galeas, 2011). Es de vital importancia en la actualidad poder comprender el impacto ambiental que originan los nuevos materiales junto a sus procesos de manufactura, todo esto llevado de la mano de una constante preocupación debido al deterioro actual del medio ambiente, con lo cual se puede inferir en la importancia que tiene un material cuando este termina su ciclo de vida útil, ya que dicho diseño con el material seleccionado debe de ser amigable al medio ambiente para que este luego de su uso pueda ser reciclado o desechado para su degradación. Dicho pensamiento da hincapié al uso de fibras vegetales dentro de los materiales compuestos, ya que al ser de origen natural entregan ciertas propiedades ecológicas (Restrepo et al., 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Considerando dichas aclaraciones uno de los mercados industriales que más enfatiza en la aplicación de materiales biodegradables y amigables al medio ambiente es el sector automotriz, en el cual los materiales compuestos reforzados con fibras ofrecen productos innovadores los cuales son tanto baratos como ligeros, manteniendo las propiedades deseadas (Cabrera F. M., 2016). En Europa el uso de materiales compuestos reforzados con fibras en el sector de autopartes se realizó desde los años cincuenta, en donde la directiva de Parlamento Europeo exige que los residuos de vehículos sean reutilizados y reciclen al final de su vida útil (Carvalho & Salman, 2018).

La industria automotriz utiliza plásticos reforzados con matrices poliméricas y fibras naturales como lino, cáñamo, kenaf, sisal o yute para la elaboración de autopartes interiores y exteriores que no se encuentren sometidos a cargas extremas como (paneles de compuertas, cubre barros, tableros, apoya cabezas, entre otros). De la misma manera grandes compañías automotrices como es caso de Mercedes Benz incorpora en muchos de sus gamas de vehículos materiales compuestos de fibra natural y matriz polimérica como es el caso de la serie clase A de Mercedes la cual incorpora 54 componentes de material reciclado, 26 de material renovable y fibra de abacá para partes exteriores (Majewski & Błędzki, 2015).

Figura 2.

Mercedes-Benz clase S y sus partes en base de Material Compuesto



Fuente: (Majewski & Błędzki, 2015)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

De manera general la aplicabilidad de los materiales compuestos dentro de la industria del automóvil, es motivada debido a su excelente relación de resistencia y peso, lo cual genera menor pérdida de energía ligado a ventajas desde el punto de vista medioambiental (Cabrera F. M., 2016).

Considerando a Ecuador como un país de clima variado y en base a lo expuesto en párrafos anteriores sobre la ventaja del uso de materiales compuesto con fibra vegetal, hace pensar que Ecuador tiene potencial en dicho campo, esto debido a que en su territorio se han registrado cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, dentro de las cuales se tiene un registro de producción y comercialización de solo 25 tipos de especies que se utilizan a nivel comercial.

Dicha ventaja que presenta Ecuador por su clima variado y gracias a su zona geográfica lo convierte en un país con un gran potencial en la generación de nuevos materiales compuestos ya sean de fibra vegetal o de polvo vegetal para elaboración de WPC o compuestos de madera plástica.

La presente investigación busca darle una aplicabilidad y valor agregado a trabajos realizados sobre la caracterización mecánica de materiales compuestos con fibra vegetal producida en el país. Para enfocarlo a un uso a nivel industrial, específicamente automotriz para la elaboración de una autoparte, la cual por lo expuesto en párrafos anteriores presenta una gran acogida y un amplio campo de investigación por la búsqueda de nuevos materiales que puedan superar las limitaciones técnicas, que puede presentar el automotor, además de considerar características medioambientales.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

1.3. Objetivo General.

Seleccionar un material compuesto de fibra natural y matriz poliéster por medio de métodos multicriterios para los paneles internos de la compuerta de un vehículo.

1.4. Objetivos Específicos.

Identificar estudios de caracterización mecánica de materiales compuestos de fibra vegetal de origen Ecuatoriano y matriz poliéster mediante revisión bibliográfica para la selección del material más adecuado en la fabricación del panel interno de la compuerta delantera de un vehículo.

Identificar criterios de selección por medio de requerimiento y especificaciones mecánicas en diseño de autopartes para una selección más detallada y refinada al momento de efectuar el proceso MCDM.

Utilizar un Software de simulación estática (FEM), mediante especificaciones técnicas que debe cumplir la autoparte en condiciones de trabajo para la aplicabilidad del nuevo material en el panel delantero de la compuerta del vehículo.

Realizar una validación de resultados de simulación estática mediante la comprobación del coeficiente de variación para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de simulación.

Comparar los resultados de simulación estática del material seleccionado con el material original en la elaboración de paneles internos de puertas de automóviles a través de las condiciones permisibles en el análisis estático para garantizar la aplicabilidad del nuevo material sustituto en el panel de la compuerta.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

1.5. Estado del Arte.

1.5.1. *Sector Automotriz y materiales compuestos con Fibra natural*

En los últimos años se ha incrementado el empleo de materiales compuestos de matriz polimérica reforzado por fibras naturales, además de presentarse un mayor interés por el reemplazo de las fibras sintéticas como lo es la fibra de vidrio por fibras naturales, por su biodegradabilidad y en especial por su bajo costo de producción (Restrepo et al., 2016).

Una de las industrias que ha mostrado un mayor interés en dicho cambio es el sector automotriz, debido a las constantes preocupaciones por la crisis energética, además de las exigentes normativas ambientales. Lo que hace pensar a la industria del automóvil en materiales alternativos que aligeren el peso en sus automóviles a la vez que ayuden a mejorar el rendimiento del uso de combustible y así se pueda cumplir con los requerimientos sobre emisiones contaminantes. Todo esto debido a que con una disminución de peso del 10 por ciento se logra un ahorro del combustible del 7 a 8 por ciento (Mata, 2004).

Con lo cual dicho pensamiento en el sector automovilístico afecta a cada uno de los elementos que integran la carrocería debido a que ello constituye una parte importante en el peso del auto. Dicho pensamiento orienta a los diseñadores del campo automotor en pensar en materiales alternativos que ayuden a cumplir dicho objetivo a la vez que cumpla con los requerimientos mínimos de diseño, por tal motivo el interés en la elaboración de materiales compuestos reforzados con fibras en autopartes (Moreano & Zambrano, 2016).

Dentro de las aplicaciones en la industria del automóvil de los materiales compuestos reforzados con fibras se pueden tener:

- Habitáculos (Salpicaderos, paneles de interiores, mandos)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Componentes Mecánicos (Cojinetes, Componentes del Motor, cierres)
- Elementos de Carrocería (Paneles Exteriores, elementos de defensa, rejillas)

De manera análoga se puede decir que la ventaja que tiene en el sector automotriz el uso de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras es:

- Reducción en el peso del automotor (Hasta un 50%)
- Reducción en los costes de fabricación
- Aumento en la resistencia a la abrasión y desgaste
- Buen comportamiento frente a cargas dinámicas
- Resistencia a los agentes Químicos (Resistencia a la corrosión)
- Aerodinámica (Facilidad en la conformación y moldeo)
- Aislamiento térmico
- Flexibilidad en el diseño

Considerando dichos aspectos en empresas como BMW, Ford, Mercedes Benz están en la actualidad incorporando fibras naturales en sus modelos, dándoles un mayor uso en los habitáculos en los paneles internos, cubre barro y tableros de instrumentos (Nicolalde, 2018).

Figura 3.

Componentes Elaborados con Fibras Vegetales en Automóviles



Fuente: (Guerrero et al., 2013)

De la misma manera otras empresas como Toyota están comercializando vehículos cuyos paneles de compuertas están contruidos con materiales compuestos de matriz polimérica y con

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

refuerzo de Kenaf, en Alemania se desarrolla materiales compuestos de matriz poliéster con refuerzo de fibra de lino para aplicaciones de exteriores o semi-exteriores en partes de vehículos (Bravo & Giovanni, 2018).

1.5.2. Autopartes elaboradas a base de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica

En la actualidad el automóvil moderno ha experimentado cambios muy significativos con respecto a los materiales utilizados para su elaboración, pasando de ser un robusto automotor metálico a ser un automóvil más ligero con uso de materiales alternativos que suplen al metal, esto debido a que en los últimos años los diseñadores piensan en formas de ahorrar combustible, lo que se traduce en materiales más ligeros y también debido a requisitos legislativos y reglamentos en ciertos países, los cuales obligan a los diseñadores a pensar en materiales mucho más amigables al medio, todo esto debido a la lucha contra el cambio climático que se vive actualmente (Ayorloo et al., 2021).

Motivo por el cual las empresas de automóviles piensan en el uso de plásticos en el sector de la automoción, reforzados ya sean con polvo o fibra de carácter vegetal o sintético, todo esto debido a su ligereza y gran aporte en sus propiedades mecánicas.

Una de las pautas que dio origen al empleo de materiales compuestos con matriz polimérica en el campo automotor, fue gracias a Henry Ford el cual en el año 1941, presentó un automotor con carrocería de material compuesto de fase continua polimérica y fase dispersa de cáñamo y sisal. La incorporación de materiales plásticos y/o compuestos de matriz polimérica, ha crecido de manera constante al tener un peso inicial de 20 libras por automotor en los años de 1960 a pasar a tener un peso equivalente a 357 libras por peso de automotor en el año 2015 (Pradeep, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

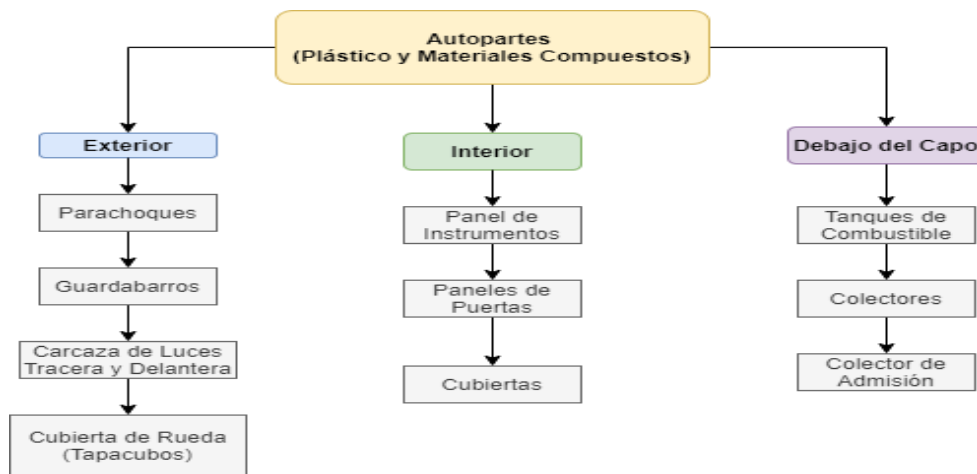
Dentro del uso de materiales plásticos y sus derivados como materiales compuestos de matriz polimérica en el campo automotor, se clasifica en tres segmentos dependiendo de la ubicación de la autoparte en el vehículo teniendo así:

- Exterior
- Interior
- Debajo del Capó

Con lo cual se tiene una lista de distintos componentes en función de cada una de las secciones a las que pertenece dicha autoparte en el vehículo y son fabricados de materiales plásticos y/o derivados (Materiales Compuestos de Matriz Polimérica) teniendo:

Figura 4.

Autopartes elaboradas con plástico o materiales compuestos de matriz polimérica



Fuente: (Pradeep, 2018)

Como se puede observar en la Figura 4, existe un gran número de autopartes que son elaboradas a base de plásticos y/o materiales compuestos de matriz polimérica, en muchas ocasiones se utiliza polvo o fibra de carácter sintético para reforzar el material compuesto, esto debido a sus ventajas en propiedades mecánicas como es el caso de la fibra de vidrio para el

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

refuerzo de parachoques, pero debido a su costo de procesamiento y su baja compatibilidad con el medio ambiente es más común el uso de fibras vegetales, especialmente en interiores del vehículo esto debido a que dichas autopartes no están sometidas a cargas extremas ya que en muchas ocasiones no se tiene un valor alto en propiedades mecánicas en materiales reforzados con polvo vegetal y/o fibra vegetal, debido a la falta de compatibilizante que mejore la interface en el compuesto o por el uso de una pequeña cantidad de fracción volumétrica en el composite relacionado con el apartado lignocelulósico, motivo por el cual muchas marcas de vehículos han utilizado materiales compuestos reforzados con fibras o polvo vegetal en paneles de instrumentos y/o paneles de compuertas internas de automóviles, aprovechando las ventajas que esto supone a la autoparte (Pradeep, 2018).

Figura 5.

Panel Interno de la compuerta de un auto de material compuesto con fibra de cáñamo y matriz polimérica.



Fuente: (Witayakran, Smitthipong, Wangpradid, Chollakup, & Clouston, 2017)

1.5.3. *Panel Interno de la Compuerta de un Vehículo*

Los materiales plásticos de manera general los polímeros poseen un uso amplio en el campo de la ingeniería, en donde se destaca su uso es en la industria automotriz, para el diseño y fabricación de partes de vehículos, siendo así materiales compuestos reforzados con fibras los cuales han sido usados en algunos componentes como los paneles internos, paneles de

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

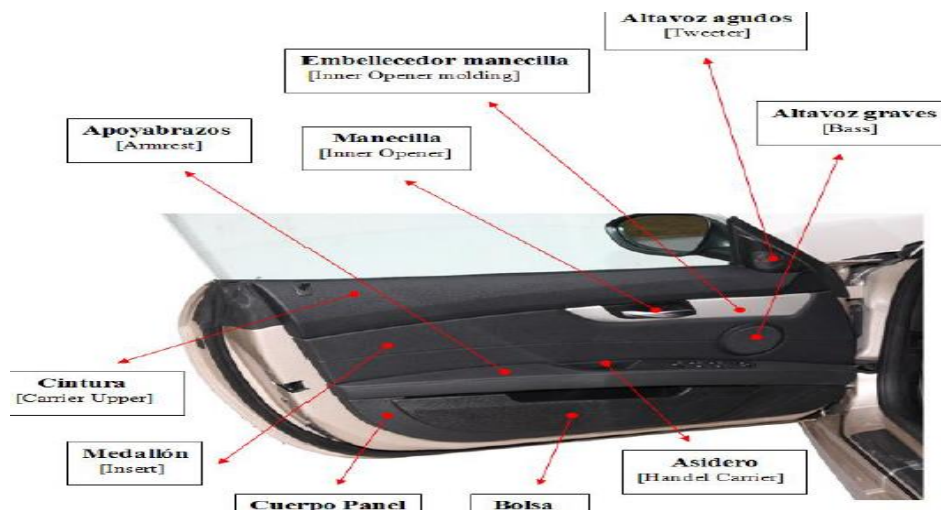
instrumentos, apoyacabezas, guardafangos entre otros. Todo esto por brindar las ventajas que se especifican en párrafos previos (Gomez Berrezueta & Méndez, 2017).

Al hablar de del panel interno de un vehículo es hacer referencia al revestimiento interno de la compuerta, siendo estas un conjunto de piezas las cuales recubren el habitáculo interno de las compuertas del automotor entregando una sensación de confort a los usuarios y calidad al interior del auto (Pradeep, Iyer, Kazan, & Pilla, 2017).

De manera general dicho panel suele estar formada por elementos de plástico, esto debido a que al no tratarse de un elemento que soporte grandes cargas o deformaciones posee un carácter más decorativo. Como se puede visualizar en la Figura 6 y Figura 7, los paneles de compuertas delanteras como traseras son muy similares tanto en forma como en tamaño, aunque de manera general los paneles delanteros suelen elaborarse con una calidad de materiales más elevada, esto debido a que los compradores de automóviles son las personas que van a manejar el vehículo (Pradeep et al., 2017).

Figura 6.

Panel interior delantero de la compuerta de un vehículo con sus elementos



Fuente: (Pradeep et al., 2017)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 7.

Panel interior de la puerta posterior de un vehículo junto con sus elementos



Fuente: (Pradeep et al., 2017)

Los materiales de los paneles de la compuerta de un auto deben de presentar una sensación de calidad hacia el usuario, debido al contacto directo que tienen los mismos con los ocupantes, con lo cual existe una influencia de cuatro de los sentidos en los ocupantes con respecto a los paneles interiores que son:

- La Vista : Percepción de los acabados superficiales tanto de los detalles que presente el material en el panel interno
- Oído : Hace referencia al sonido que se produce por consecuencia de golpear al material o de manera análoga al momento de usar el vehículo , el panel debe tener la capacidad de evitar el ingreso de sonidos del exterior
- Tacto: Hace referencia con la sensación de la textura, dureza y deslizamiento de la calidad de los materiales con relación al confort por parte del usuario.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Olfato: Los materiales de los paneles internos no deben desprender un olor desagradable al usuario.

En condiciones de trabajo, dentro del ciclo de vida del producto los paneles de un vehículo están sometidos a cargas o esfuerzos ubicados en diferentes partes de su estructura, esto debido a las acciones que realiza el usuario al momento de abrir o cerrar la compuerta, apoyarse en el panel mientras está manejando, etc. (Pradeep et al., 2017). Se considera que las partes del panel que están sometidas a cargas son:

- Cintura
- Cintura Posterior
- Apoyabrazos
- Cuerpo del Panel

1.5.4. *Materiales Compuestos*

Dicha investigación se centra en la selección de materiales compuestos para los paneles internos de la compuerta de un automóvil, por tal motivo es de carácter imperativo explicar sobre una definición de lo que es un material compuesto.

El hablar de materiales compuestos es pensar en materiales con mejora en sus propiedades, características y sobre todo pensar en combinación, se podría definir a un material compuesto como una combinación macroscópica de dos o más materiales entre los cuales existe una interface que los separa, por tal motivo son heterogéneos, además de que sus propiedades no son iguales a una suma y promedio de las de sus componentes, esto debido a que depende de otros parámetros.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

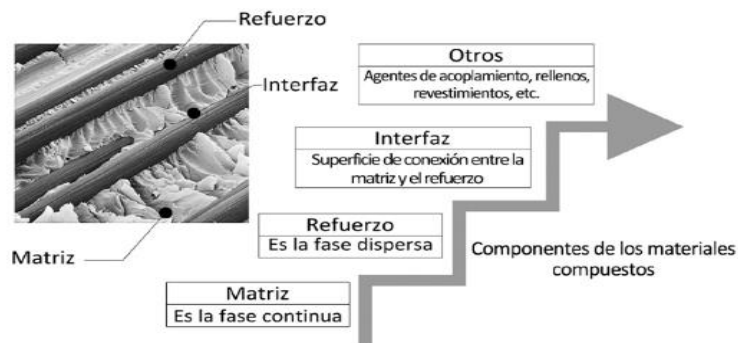
La necesidad de la humanidad de poder elaborar materiales con propiedades combinadas es decir que tengan propiedades de características de familias como: metálicos, cerámicos y plásticos, presentes en un material ha dado origen a la elaboración de “Materiales Compuestos”, presentando propiedades que se pueden acoplar a las necesidades teniendo así mejoras en su peso, rigidez, resistencia al impacto entre otras, siendo por tal motivo muy aplicables en varios sectores de la industria (Sileoni et al., 2011).

1.5.4.1 *Componente de los Materiales Compuestos*

Un material compuesto está formado por una matriz y refuerzo, además de tener una superficie en su morfología de conexión entre ambas denominándose interfaz, en algunas ocasiones se le añade agentes de acoplamiento los cuales tiene como finalidad mejorar dicha superficie de interfaz haciendo así que las propiedades del material aumenten (Groover, 2010).

Figura 8 .

Componentes de un Material Compuesto



Fuente: (Dávila et al., 2011)

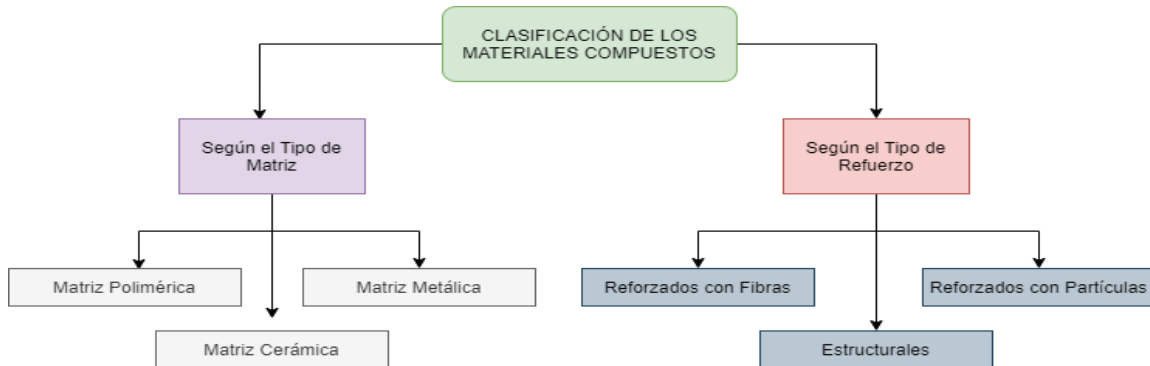
1.5.4.2 *Tipos de Materiales Compuestos*

Se los puede clasificar según dos parámetros como su tipo de matriz y el tipo de refuerzo teniendo así:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 9 .

Clasificación de los Materiales Compuestos



Fuente: (Ashby, 2014)

En la cual según su tipo de matriz se tiene:

- Matriz Polimérica: Su fase continua es un polímero (plástico), la cual puede tener en su fase dispersa (Fibra o Partículas), son los más comunes.
- Matriz Metálica: Son muy utilizados en la industria automotriz y están formados por metales livianos como el aluminio.
- Matriz Cerámica: Son más utilizados para aplicaciones que requieren de una alta temperatura, formado en su mayoría con refuerzos de fibras cortas o whiskers de nitruro de boro.

Considerando el tipo de refuerzo en su fase dispersa:

- Refuerzo con partículas: Son utilizados para tener buenas propiedades a temperaturas elevadas, también ayudan a reducir la contracción que sufre el material después del moldeo además de aumentar la dureza y la resistencia a la compresión.
- Refuerzo con Fibras: Dicho refuerzo depende en gran medida de la orientación que se dé a la fibra además de la longitud que estas presenten y la cantidad de la misma,

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

teniendo muy buenos resultados al momento de absorber esfuerzos que se encuentran en dirección a la fibra (Ashby, 2014).

- Refuerzo Estructural: Contiene tanto materiales compuestos como materiales homogéneos, en donde sus características dependen no solo de los materiales que lo constituyen sino también de la forma del diseño de los elementos estructurales, pudiendo ser laminares (elevada resistencia) y paneles tipos sándwich con caras externas distanciadas por un material con menor densidad (Borque & López, 2007).

1.5.5. Importancia de los Materiales Compuestos Reforzados con Fibra Natural

Una de las preocupaciones que afronta la humanidad actualmente es el deterioro del medio ambiente, motivo por el cual día a día se promueve el uso de tecnologías limpias, además de la optimización del uso de las mismas. Haciendo pensar que es de carácter imperativo el conocer como ha sido el desarrollo previo de un producto, tomando en cuenta a considerar el ciclo de vida del mismo, haciendo hincapié a que los procesos de producción están ampliamente ligados a un aspecto medioambiental considerando además los aspectos económicos que se ven involucrados (Ponce & Guerrero, 2014).

Al tomar en cuenta el aspecto económico se puede decir que juega un papel fundamental en la elaboración de algún producto, señalando que es posible utilizar al reciclaje como una fuente de ingresos siempre y cuando se disponga de la tecnología necesaria. Tomando en cuenta que el proceso de reciclaje conlleva consigo una serie de factores entre las que se destaca:

- Los posibles usos del material reciclado
- Facilidad de separación de materiales que no aportan funcionalidad
- Conservación de cualidades intrínsecas del producto de origen

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Entendiéndose así la importancia que tiene un material después de su ciclo vital, pensado que un material debe estar diseñado para que este sea amigable con el medio ambiente.

En dicho sentido y en base a lo expuesto en los párrafos previos se puede decir que el uso de fibras vegetales posee mucho valor debido a su origen de carácter natural, dándole al material compuesto propiedades ecológicas, lo cual le imprime mayor valor por ser amigable con el medio.

A nivel industrial se ha creado la necesidad de poder minimizar el uso de polímeros por el hecho de tener una derivación del petróleo, y se piensa en combinar dichos polímeros con refuerzos naturales para aprovechar su ventaja en la biodegradabilidad, contribuyendo al manejo responsable de los recursos naturales y permitiendo una producción sustentable y sostenible con el tiempo (Restrepo et al., 2016).

Por otra parte cabe señalar que a pesar de su apartado medio ambiental las fibras vegetales aportan otras ventajas al material compuesto con respecto a sus propiedades entregando:

- Excelentes resistencias mecánicas
- Bajo peso
- No son tóxicas ni abrasivas
- Requieren un bajo consumo de energía
- Costo Bajo
- Versatilidad en la producción

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 1

Propiedades de algunas fibras Vegetales

Propiedades	FIBRAS VEGETALES					
	<i>Lino</i>	<i>Cáñamo</i>	<i>Yute</i>	<i>Sisal</i>	<i>Abacá</i>	<i>Algodón</i>
Densidad (g/ cm ³)	1,4	1,48	1,46	1,33	1,5	1,51
Resistencia a la Tracción (MPa)	800-1500	550-900	400-800	600-700	400-1300	400
E-Módulo (GPa)	60-80	70	oct-30	38	45	12
Absorción de Agua (%)	7	8	12	11	8 a 10	8 a 25

Fuente: (Majewski & Błędzki, 2013)

En la Tabla 1, se puede apreciar las propiedades de algunas fibras vegetales que son utilizadas como refuerzo de materiales compuestos. Al considerar dichos aspectos, además de las cualidades medio ambientales que proporcionan hace que los materiales compuestos reforzados con fibras naturales sean muy aceptadas y atractivas en la industria. En donde se la industria aeronáutica la utiliza como refuerzo de muchos de sus componentes, además de la industria automotriz la cual utiliza un aproximado de 80 000 toneladas de fibras anuales para el refuerzo de paneles con una fase dispersa polimérica (Majewski & Błędzki, 2013).

1.5.6. Producción de Fibra en el Ecuador e Importancia de generar Valor agregado al desperdicio vegetal.

En el país el área de nuevos materiales se encuentra todavía en etapas prematuras, motivo por el cual el desarrollo e implementación de fibras como fase dispersa de materiales compuestos todavía es limitado. Razón por el cual la importancia de generar valor agregado e incentivar para el desarrollo de dicha área en donde el país tiene un gran potencial, esto se puede reflejar por la gran variedad de especies vasculares que posee (Guerrero et al., 2013).

A nivel de región de los Andes Centrales se tiene un total de 67 especies pertenecientes a 24 familias de plantas vasculares, dentro de las cuales Ecuador posee un mayor número de especies

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

con un total de 34 dentro de su territorio Nacional, comparándolo con países como Perú y Bolivia visualizándose en la siguiente Tabla 2, (Por & De, 2007).

Tabla 2

Registro de familias de plantas vasculares en la zona Andina en región de países de Ecuador, Perú y Bolivia

Familia	Ecuador	Perú	Bolivia	Total de especies por familia
Agavaceae	2	1	2	2
Araceae	1			1
Areaceae	7		5	10
Asteraceae	1	1	5	6
Bignoniaceae		1	2	3
Cecropiaceae	1			1
Columelliaceae		1		1
Cyperaceae	1	1	1	1
Euphorbiaceae		1		1
Fabaceae s.l.	2	2	1	5
Juncaceae	1			1
Malvaceae	4			4
Melastomataceae	1			1
Poaceae	8	9	5	18
Podocarpaceae	1			1
Polemoniaceae		1		1
Rosaceae		1	1	1
Salicaceae			2	2
Sapindaceae				1
Saxifragaceae		2		2
Solanaceae		1		1
Tiliaceae	1			1
Typhac	1			1
Ulmaceae	1			1
Total de especies por país	34	22	24	67

Fuente: (Por & De, 2007)

La producción de abacá en Ecuador es considerada como la segunda a nivel mundial después de Filipinas, con producciones anuales de 10 000 toneladas, en su producción de cabuya se tiene registro que Ecuador en el año 2008 tuvo una producción de 5 400 toneladas las cuales generaron un valor aproximado de 2,7 millones de dólares según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP, 2019). Por medio de datos recopilados por la (MAGAP) en Ecuador se tiene también una producción de coco la cual se cultiva en provincias de (Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro, Napo, Orellana, Galápagos), las cuales suman una producción anual de 51 000 Toneladas , siendo así Esmeraldas con la mayor producción de coco (MAGAP, 2019).

De la misma manera en estudios realizados por (Por & De, 2007) en la región Andina comparado con países de Perú y Bolivia se tiene que Ecuador es uno de los países con mayor uso

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

de plantas de fibra en base al registro de familias de plantas vasculares pertenecientes en su territorio, donde se tiene un enfoque de usos al campo de cestería y cordelería que se visualiza en la Tabla 3.

Tabla 3

Distribución por categoría para el uso de plantas de fibra registrada en los Andes de Ecuador, Perú y Bolivia.

Categoría de uso	Ecuador	Perú	Bolivia	Total de especies por categoría de uso
Cestería	12	11	17	35
Cordelería	10	6	6	19
Techado de casas	9	6	7	19
Fabricación de escobas	10	4	4	18
Material para relleno	3	0	5	8
Textil	2	1	2	2
Construcción de embarcaciones	1	1	1	1
Comercial	11	1	4	13

Fuente: (Por & De, 2007)

Visualizándose que si bien se ha dado una industrialización en el campo de las fibras las mismas han sido empleadas en productos de escaso valor, mientras que en otros casos no se considera un uso de las fibras debido al consumo del recurso alimenticio de la planta sin pensar en un uso de la parte fibrosa de la misma como es el caso del coco (Jordán & Paute, 2019).

Figura 10 .

Productos elaborados con plantas de Fibras



Fuente: (Por & De, 2007)

1.5.6.1 Composición de la Fibra Vegetal y su Incidencia dentro de las propiedades mecánicas y físicas.

Para considerar las ventajas que aporta la fibra vegetal para implementarse como refuerzo en un material compuesto se debe de considerar aspectos como la composición química que

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

presenta la misma a implantarse como fase dispersa dentro del composite. De manera general se dice que las fibras vegetales están constituidas por celulosa, hemicelulosa y lignina, motivo por el cual a las fibras se las puede denominar con el apelativo de fibras lignocelulósicas (Borque & López, 2007).

- Celulosa

Es el constituyente de la base estructural de las células vegetales, dentro de la fibra vegetal se puede encontrar formada por medio de moléculas ordenadas denominándose zona cristalina y por moléculas de celulosa notablemente menos ordenadas denominándose región amorfa, con lo cual aportan a la fibra propiedades como : si se tiene un grado elevado en la cristalinidad se da una influencia sobre la tenacidad, elongación y elasticidad con lo cual está estrechamente relacionado con las características de la estructura de la fibra, de la misma manera la estructura amorfa de la disposición celular de la celulosa está asociada con las características de hinchamiento y reactividad, teniendo características como:

Tabla 4

Ventajas y desventajas de la Celulosa en la fibra.

FIBRA CON ALTO CONTENIDO DE CELULOSA	
Ventajas	Desventajas
Gran capacidad de absorber humedad	Baja Resiliencia
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Bajo Volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a luz solar

Fuente: (Espinoza & Hidalgo, 2016)

- Hemicelulosa

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Son polisacáridos fundamentales en la pared vegetal, es similar a la celulosa pero con menor masa, un contenido elevado en la fibra de hemicelulosa puede ayudar al desarrollo de hongos en el material el cual ayude a su descomposición si no se mantiene en condiciones apropiadas de humedad y temperatura de almacenamiento.

- Lignina

Es un polímero mixto el cual está formado por moléculas ramificadas, es la encargada de brindar soporte a la planta, la cual le confiere al tallo resistencia a impactos, compresiones y flexión, aportando rigidez a la pared celular y entregando protección al ataque químico como a microorganismos (Guerrero et al., 2013).

Tabla 5.

Influencia de Celulosa, Hemicelulosa, Lignina en la fibra

Resistencia	↑	Celulosa cristalina Celulosa no cristalina Hemicelulosa + lignina Lignina
Degradación térmica celulosa	↑	Hemicelulosa Lignina
Degradación biológica	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina Lignina
Absorción de humedad	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Lignina Celulosa cristalina
Degradación UV	↑	Lignina Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina

Fuente: (Dávila et al., 2011)

1.5.7. Estudios previos sobre la caracterización mecánica de materiales compuestos reforzados con fibra producida en Ecuador por medio de estratificación manual.

En base a lo mencionado en párrafos previos se entiende la ventaja que presenta Ecuador en el ámbito de desarrollo de materiales compuestos de fibra natural, debido a su gran flora respecto a especies de plantas vasculares, por tal motivo se realiza un análisis bibliográfico de los últimos

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

estudios realizados sobre la caracterización mecánica de materiales compuestos en los cuales se tiene como fase dispersa un tipo de fibra que tiene origen en territorio Ecuatoriano, analizando así su comportamiento y propiedades, tomando en consideración como parámetro de selección común a su fase continua al tener una matriz polimérica del tipo poliéster con la finalidad de reducir la muestra que se va analizar y poder tener una selección del material compuesto mucho más objetiva, en donde se tiene estudios como :

1.5.7.1 Caracterización de un material compuesto de Matriz Poliéster Reforzado con fibra Tejida de Banano

Dicha investigación elaborada por (Cesar & Daniel, 2019), se realiza la caracterización de compuestos con una fase dispersa de fibra del raquis de banano, en la cual se utiliza fibras tratadas químicamente mediante mercerización y fibras sin previo tratamiento, utilizando una configuración al 10% en peso de fibra para la elaboración de las probetas, utilizando configuración de las mismas en base a fibra corta o continua, de la misma manera en dicha investigación se realizaron ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto con lo cual se visualiza sus propiedades.

Dentro de los resultados arrojados en las investigaciones de (Cesar & Daniel, 2019), se tiene un incremento de 29,08% en resistencia a la tracción del material compuesto reforzado con fibra tratada y en configuración continua longitudinal, aunque es de mencionar que también se arroja resultados en la disminución en su resistencia a la flexión en un 30,41 % todo esto en la comparativa que hace el estudio en base a la matriz poliéster, en el cual se tiene valores de esfuerzo máximo a la tracción de 27,68 MPa y esfuerzo máximo en flexión de 72,65 MPa.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 11.

Probetas de Tracción con fibra de banano tratadas



Fuente: (Cesar & Daniel, 2019)

1.5.7.2 Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con Fibra de Yute precargada mediante moldeo por compresión

En la investigación realizada por (Cunalata Sánchez & Jiménez Abarca, 2019) , se evalúa la influencia en las propiedades de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra tejida de Yute, en la cual se realiza la caracterización mecánica por medio de ensayos de tracción , flexión e impacto, en los cuales se tiene un comportamiento superior a su matriz poliéster en estado puro, esto debido a que dicha investigación presenta también un análisis de resistencia máxima al tejido de Yute en la cual se visualiza que con tejido plano se tiene una resistencia a la rotura de 84,27 Kgf.

Con lo cual en el estudio de (Cunalata Sánchez & Jiménez Abarca, 2019) , se concluye las diferentes precargas aplicadas al tejido del compuesto de Yute generan un incremento del esfuerzo máximo a la tracción y módulo elástico, en las cuales compuestos con una fracción volumétrica de 5% , con estireno y 15 días de curado presentan la mayor resistencia a la tracción con valores que llegan hasta los 35 MPa, visualizándose el incremento del 76 % comparada con su matriz en estado puro (poliéster).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 12.

Placa de Material Compuesto con tejido de Yute



Fuente : (Cunalata Sánchez & Jiménez Abarca, 2019)

1.5.7.3 Caracterización Mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de Coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones Industriales

Dicho trabajo elaborado por (Ortíz, 2017), indica el comportamiento mecánica de un material compuesto con una fase dispersa de fibra de coco y una matriz polimérica del tipo poliéster, en la cual se elaboran probetas de material compuesto con diferentes configuraciones en fracción volumétrica y estratificación , con el objetivo de poder establecer la combinación ideal de material compuesto que presente las mejores propiedades mecánicas (tracción, flexión e impacto).

Dentro de los resultados arrojados en el estudio de (Ortíz, 2017) , se encontró que la composición con mejores propiedades es la que tiene una composición de fibra corta de coco al 30 % en una fracción volumétrica con orientación al azar y por medio de estratificación manual, en la cual se tiene presencia de excelentes propiedades mecánicas , con una buena absorción de energía en ensayos de impacto , concluyendo el autor que dicho material podría utilizarse para aplicaciones en la construcción , mueble e industria automotriz.

Figura 13.

Probetas de flexión de material compuesto de Fibra de Coco



Fuente: (Ortíz, 2017)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

1.5.7.4 Obtención y Caracterización Mecánica de material compuesto con resina

Poliéster y Fibra de Piña

Se puede observar en el estudio realizado por (Castiblanco, 2017), el cual utiliza fibras del rastrojo post cultivo de la piña para poder reforzar un material compuesto de matriz polimérica (poliéster), en el cual se trata de manera química las fibras de tal forma que se mejora las propiedades de adherencia por eliminación de humedad y desacople de agentes orgánicos que con el tiempo pueden dañar a las fibras, en dicho estudio se tiene resultados respecto a tracción y flexión en las cuales se destaca una mejora en el comportamiento del compuesto con un incremento en sus propiedades mecánicas, en donde se registra datos de con valores de 44 hasta los 75 MPa e incrementos del 20 al 25 % en sus resistencia mecánica comparada con la matriz en estado puro (Castiblanco, 2017).

Figura 14.

Material compuesto con refuerzo de fibra de piña



Fuente: (Castiblanco, 2017)

1.5.7.5 Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica Formulados

Incorporando Tejidos y no Tejidos de Fibras Naturales

La investigación desarrollada por (Alvarez, 2015), caracterizó y evaluó un material compuesto de matriz poliéster el cual tiene como refuerzo fibras de abacá tipo satín al 20 % en volumen , en el cual también se desarrolla un método manual para obtener de no tejidos con fibra de coco las cuales también se los caracterizó.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

En dicho estudio (Alvarez, 2015), los resultados obtenidos descritos para el material compuesto con refuerzo de tejido de fibra tipo satín indican un incremento en sus propiedades mecánicas, con porcentajes de 49,5 % en relación con el calor de esfuerzo máximo y un 7,2% en esfuerzo máximo en el ensayo de flexión, comparada con su matriz en estado puro. De manera análoga en dicha investigación se tiene resultados muy similares en cuanto al material compuesto de resina poliéster con refuerzo de fibra de corta de coco al 15 % en su volumen.

Figura 15.

Probetas de flexión para probetas reforzadas con fibra de abacá en tejido tipo satín



Fuente: (Alvarez, 2015)

1.5.7.6 Obtención y Caracterización de Materiales Compuestos de matriz Poliéster reforzados con Fibra de Cabuya mediante estratificación

Dicho proyecto elaborado por (Tamayo, 2012), elabora y caracteriza de forma mecánica un compuesto de matriz polimérica (poliéster) con refuerzo de fibra natural (cabuya), mediante ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto, en los cuales en dicha investigación se utilizó dos tipos de hilos de Cabuya (Fino ; Grueso), al igual que tipos de tejido en el cual se utilizó (fino, normal y grueso).

Con lo cual dicha investigación arroja resultados positivos para materiales compuestos con dicho refuerzo m con hilos de cabuya gruesos además de presentarse mejores resultados en tejidos norma y grueso, teniendo así valores con incrementos de 159% con respecto a la matriz en resultados a la tracción y mejoras en sus propiedades a la flexión, además de observarse en

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

dichos materiales compuestos un incremento en la rigidez del elemento con respecto a su matriz en estado puro (Tamayo, 2012).

Figura 16.

Probetas para ensayos de Flexión con refuerzo de fibra tejida de Cabuya



Fuente: (Tamayo, 2012)

1.5.7.7 *Estudio Comparativo de las propiedades Mecánicas de la Resina Poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio.*

En la investigación de (Taborda-Rios, Cañas-Mendoza, & Trisancho-Reyes, 2017), se realiza una comparación de las propiedades mecánicas de dos tipos de materiales compuestos, uno con refuerzo de fibra de vidrio y otro con bambú, en el cual se tiene concentraciones de masa de material lignocelulósico de (11,07 ; 13,53; 16,23 %), para el refuerzo sintético de fibra de vidrio se utilizó concentraciones de (11,11; 11,77; 19 %), en donde se obtiene que en ambos casos se tiene un incremento en el módulo elástico como consecuencia de incremento de las fibras, concluyendo que los materiales compuestos con fibra vegetal pueden ser utilizados como materiales de refuerzo para aplicaciones en las cuales las prestaciones mecánicas no sean de carácter elevado, además de presentar mayor flexibilidad comparada con los materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio (Taborda-Rios et al., 2017).

1.5.8. *Métodos de Selección Multicriterios (MCDM)*

Los métodos multicriterios (MCDM), fragmentan una problemática en partes más simples, ayudando a estructurar un problema a un enfoque de múltiple criterios, mediante análisis

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

matemático y modelos que ayudan al decisor a tomar la mejor opción acorde a las necesidades planteadas.

El campo de selección de materiales es un ámbito complejo, debido a que se involucran muchas propiedades o circunstancias que pueden afectar la funcionalidad del elemento al cual se quiera seleccionar un material, motivo por el cual los métodos MCD son idóneos para satisfacer dicha necesidad, haciendo de los mismos necesarios para identificar materiales sin perder de vista el cumplimiento de la funcionalidad a la vez que se toma en cuenta el amplio abanico de materiales disponibles para el uso específico de un producto (Al-Oqla et al., 2017).

Entre los instrumentos de los métodos MCDM se tiene:

- TOPSIS (Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real)
- VIKOR (Optimización multidisciplinar y solución de compromiso)
- ELECTRE I (Eliminación y Opciones que reflejan la realidad)
- COPRAS (Evaluación compleja proporcional)
- ARAS (Evaluación de Relación de Aditivos)
- MOORA (Optimización Multiobjetivo en base al análisis de radios)
- PROMETHEE (Método de Enriquecimiento de Evaluaciones)
- ENTROPÍA

1.5.8.1 Método de ENTROPÍA

Dicho método de ponderación es utilizado con la finalidad de ponderar los pesos de los criterios de selección, lo cual ayuda a reflejar de manera clara el carácter de la información y medir de manera útil la misma por medio de parámetros proporcionados, dicho método emplea los pesos de los atributos por medio de parámetros matemáticos (Pasantez, 2019).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

1.5.8.2 Método TOPSIS

El método ayuda a determinar un resultado con una distancia mucho más corta a un resultado positiva ideal y la distancia más alejada a una ideal negativa, sin considerar la importancia relativa a dichas distancias analizadas (Vaca, Martínez, & Leguísamo, 2020).

1.5.8.3 Método VIKOR

Es considerada como una de las herramientas ideales para muchas aplicaciones referentes a la selección de materiales, siendo capaz de manejar situaciones en donde se tiene implicación con criterios tanto cuantitativos como cualitativos, teniendo la ventaja de reducir el grado de complejidad en la selección de materiales debido a su extenso número de criterios y decisiones capases de tomar (Vaca et al., 2020).

1.5.8.4 Método COPRAS

El método multicriterio COPRAS es capaz de encontrar los mejores valores de selección orientado a resultados ideales, mediante la aplicación de algoritmos matemáticos en la cual se ve involucrado el desarrollo de una matriz de decisión, hasta obtener el ranking como mejor opción de valor más alto a considerar en la selección (Pasantez, 2019).

CAPÍTULO II

2. Método.

2.1. Tipo de Estudio

El presente trabajo posee una naturaleza documental, con un inicio de análisis exploratorio en donde se buscó información relevante sobre investigaciones previas relacionadas a la caracterización mecánica de materiales compuestos con fibra vegetal, de matriz poliéster y un proceso de fabricación por medio de estratificación manual, para poder finalmente aplicar una investigación explicativa o de causalidad mediante una selección del mejor material por medio de métodos multicriterio y la posible aplicabilidad industrial de dicho composite seleccionado a una autoparte, mediante una explicación del comportamiento del material y la relación de sus variables o criterios apoyados en procesos de simulación y validación computacional.

2.2. Modalidad y Técnicas de Recolección de datos en la Investigación.

El tipo de investigación que se tiene en el trabajo es del tipo no experimental dado que no existe una manipulación de variables, debido al apoyo y recolección de estas al ser del tipo documental apoyadas en una revisión sistemática de la literatura, en donde se toma como punto de partida estudios previos de materiales compuestos con fibra vegetal y matriz poliéster, y con la finalidad de reducir el número de muestras se consideró el aspecto de fabricación de dichos materiales compuestos al ser de estratificación manual, de la misma forma al momento de realizar la validación y comprobación computacional se tiene apoyo de investigaciones previas y documentación que respalda los límites establecidos para la aceptación de dicho material en la aplicación de una autoparte.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

2.3. Metodología.

El objetivo principal de dicha investigación es la selección de un material compuesto de fibra vegetal y matriz polimérica para entregarle una aplicación industrial, para el presente estudio el panel interior de la compuerta de un vehículo y comprobación mediante una simulación computacional.

Con lo cual en primera instancia se realiza una revisión sistemática de literatura por medio de la metodología prisma, con la finalidad obtener investigaciones previas de materiales compuestos sometidos a caracterización mecánica e información relevante que sea imperativa para el análisis del proyecto de investigación, para posteriormente realizar una selección por medio de métodos multicriterios MCDM (TOPSIS, VIKOR, COPRAS), de dichas investigaciones recopiladas para poder elaborar posteriormente el diseño en CAD y ejecutar una simulación estática utilizando los software (Solid Works e Inspire Studios) del componente con las características del mejor material seleccionado a condiciones reales de operación y aplicación de puntos de cargas específicos en ciertas zonas del componente que me ayuden a determinar la aplicabilidad de dicho material compuesto en los paneles de un vehículo.

2.4. Aplicación de la Metodología Prisma para la selección de Literatura

Como punto inicial en la investigación se realiza una exhaustiva investigación y recopilación de literatura utilizando la metodología prisma, con la cual se puede elaborar una revisión sistemática de misma con la finalidad de obtener mayor eficiencia en la búsqueda y recopilación de información, mediante una estructuración más organizada al momento de realizar una revisión de literatura científica.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

En base a dicho criterio y basándose en el objetivo general y específicos de la investigación se genera una serie de preguntas que se debe de responder al momento de elaborar la revisión de literatura siendo estas:

- Características de los materiales compuestos de fibra natural y matriz polimérica
- ¿Cómo el uso de materiales compuestos de fibra vegetal mejora las propiedades en las autopartes?
- Estudios sobre caracterización de materiales compuestos de fibra vegetal y matriz poliéster
- ¿Cuáles son los parámetros tanto físicos como mecánicos que debe cumplir una autoparte interior?
- ¿Cuáles son los parámetros y metodologías en el ensayo de impacto lateral aplicado por la FMVSS?

Con lo cual en base a dichas preguntas que elabora el investigador con la finalidad de cumplir el objetivo general de la investigación y apoyado en los objetivos específicos se genera las palabras claves junto con la base de datos bibliográficos en donde se puede obtener dicha información teniendo así:

Tabla 6

Palabras claves y Bases de datos Bibliográficos

Palabras clave	Bases de datos Bibliográficos
<ul style="list-style-type: none">• Material Compuesto	<ul style="list-style-type: none">• Microsoft Académico
<ul style="list-style-type: none">• Matriz Polimérica	<ul style="list-style-type: none">• Google Académico
<ul style="list-style-type: none">• Fibra natural	<ul style="list-style-type: none">• Scielo
<ul style="list-style-type: none">• Autoparte	<ul style="list-style-type: none">• Redalyc
<ul style="list-style-type: none">• Simulación de impacto lateral	<ul style="list-style-type: none">• Latindex
<ul style="list-style-type: none">• Paneles de vehículos	<ul style="list-style-type: none">• Ebsco

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

-
- Método multicriterio
 - Scopus
- - Otros
-

En base a la elaboración de las palabras clave y teniendo definida la base de datos de búsqueda se realiza la revisión de literatura teniendo:

Tabla 7

Bibliografía Encontrada en la Base de Datos Establecida

<i>Palabras Clave</i>	<i>Base de Datos</i>	<i>Encontrados</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Material Compuesto</i> • <i>Matriz Polimérica</i> • <i>Fibra natural</i> • <i>Autoparte</i> • <i>Simulación de impacto lateral</i> • <i>Paneles de vehículos</i> • <i>Método multicriterio</i> 	Google	10
	Académico	
	Scielo	2
	Redalyc	2
	Latindex	1
	Ebsco	2
	Scopus	7
Otros	20	
	TOTAL	44

Dicha selección de bibliografía ayuda al investigador a tener un punto de revisión inicial para poder iniciar con el proceso de investigación.

2.5. Propiedades de los Materiales Candidatos

Una vez elaborada la revisión de literatura se tiene los estudios previos a caracterización mecánica de materiales compuestos con fibra vegetal y matriz polimérica de la cual se elaborará el criterio de selección MCDM, en los cuales como parámetro inicial se coloca las propiedades de los materiales candidatos en función de las principales características mecánicas y térmicas que debe de cumplir los paneles internos de las compuertas de un vehículo, teniendo así:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 8

Criterios de Selección de los Materiales Candidatos

Material Compuesto		Fracción Volumétrica (Refuerzo)	Esfuerzo Máximo a la Tracción	Módulo de YOUNG	Esfuerzo Máximo a Flexión	Módulo de Flexión	Densidad	Costo Fibra	Proceso de Elaboración
Matriz	Refuerzo	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[gr/ cm3]	\$/Kg	
<i>Poliéster</i>	Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)	4,78	34,68	1930	61,86	2337,8	1,1048	2	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Fibra de Banano corta (Mercerización)	10	35,73	1304,84	50,56	3675,47	1,158	0,67	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Fibra de Piña (Mercerización)	15	44,47	1524,23	74,96	2140	1,298	2	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Fibra corta de Coco (Mercerización)	30	21,88	3118,05	1,321	3198,46	1,071	0,2	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Fibra de Cabuya	39	74,32	4025,6	61,78	2953,48	1,056	0,25	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Fibra de Bambú (Mercerización)	10,11	34,32	7160	83,01	4160	1,128	2,5	Estratificación Manual
<i>Poliéster</i>	Tejido de Abacá Tipo satín	20	27,5	10462	62,4	3976	1,173	3	Estratificación Manual

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 9

Materiales Candidatos con la fuente bibliográfica de su selección

Tipo de Matriz	Material Candidato	Referencia Bibliográfica
Poliéster	Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)	(Cunalata Sánchez & Jiménez Abarca, 2019)
Poliéster	Fibra de Banano corta (Mercerización)	(Cesar & Daniel, 2019)
Poliéster	Fibra de Piña (Mercerización)	(Castiblanco, 2017)
Poliéster	Fibra corta de Coco (Mercerización)	(Ortíz, 2017)
Poliéster	Fibra de Cabuya	(Tamayo, 2012)
Poliéster	Fibra de Bambú (Mercerización)	(Taborda-Rios et al., 2017)
Poliéster	Tejido de Abacá Tipo satín	(Alvarez, 2015)

En la Tabla 9, se puede visualizar los materiales candidatos conjuntamente con la referencia bibliográfica del estudio de donde se realizó la selección del mismo.

Con los criterios de selección establecidos (fracción volumétrica, esfuerzo máximo a la tracción, módulo de Young, esfuerzo máximo a la flexión, módulo de flexión, densidad y coste de fibra) para cada material candidato se procede a realizar una ponderación de pesos de criterios para después elaborar la selección del mejor material con los métodos multicriterios establecidos en la presente investigación.

2.6. Ponderación de criterios de selección

Para la ponderación o el cálculo de pesos de parámetros de selección de cada material candidato se puede apoyar en varios métodos, entre ellos puede ser modelos AHP, modelos de desviación estándar, crítico o el Entropía, en la presente investigación se optó por el método de la entropía, esto debido a que se requiere un mayor grado de objetividad en la selección del material, además de presentar parámetros de selección netamente cuantitativos.

2.7. Método de Entropía

Dicho concepto fue apilado como una medida de información en un sistema, en la cual existe una analogía muy estrecha con la probabilidad, siendo así la entropía una medida de la probabilidad para que un sistema pueda existir en un cierto estado, potenciando así su utilidad para la teoría de la información, permitiendo en base a dicho mecanismo de ponderación de criterios tener una metodología que permita determinar los pesos con procesos subjetivos.

Con lo cual se sigue los siguientes puntos para su ejecución:

- Punto 1: Elaboración de la matriz de decisión estándar

$$Ar = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

Dicha matriz se la elabora directamente de la Tabla 8, de propiedades de los materiales candidatos conjuntamente con sus criterios de selección, en donde cada uno de los elementos de la matriz X_{ij} , son las propiedades de los materiales candidatos obtenidos en la Tabla 8.

- *Punto 2:* Elaboración de la matriz de decisión normalizada P_{ij} , con la cual se obtiene valores adimensionales de los diferentes criterios de selección, basados en los parámetros de la matriz de decisión estándar, en donde cada elemento de la matriz de decisión normalizada viene dado por la Ecuación (1):

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (i = 1, 2, 3 \dots, m; j = 1, 2, 3 \dots, n) \quad (1)$$

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- *Punto 3:* Determinación de la entropía (E_j) por medio de la ecuación:

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right), \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

En la cual se tiene:

$$k = 1/\ln(m) \text{ Siendo una constante } 0 \leq E_j \leq 1;$$

Dónde: m = Cantidad de alternativas en la matriz de evaluación normalizada.

- *Punto 4:* Evaluación de la diversidad de Criterios (D_j), con ayuda de la ecuación 3.

$$D_j = 1 - E_j \quad (3)$$

Basándose en los resultados obtenidos en paso 3 de la determinación de la entropía (E_j)

- *Punto 5:* Ponderación de los pesos de cada criterio de selección (W_j), con ayuda de la ecuación 4:

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m (D_j)} \quad (4)$$

Con el cálculo de la ponderación de pesos de cada criterio de selección se procede a la ejecución de los métodos de selección MCDM propuestos en la presente investigación.

2.8. Métodos de Selección Multicriterios (MCDM).

La metodología en la selección multicriterio (MCDM), se apoya en aspectos matemáticos con los cuales ayudan a tomar una decisión de manera más fiable, objetiva y sencilla. El cual consiste en la elaboración de un ranking de selección según el criterio de selección del decisor, para lo cual es imperativo una ponderación de pesos de criterios previa a la ejecución de un análisis de selección MCDM, con lo cual gracias a diferentes técnicas y análisis matemática propone una

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

solución fiable según la relevancia del criterio de selección apoyada en los parámetros de selección previamente establecidos por el decisor (Vaca et al., 2020).

Dentro del proceso de selección multicriterio es importante colocar una nomenclatura de identificación que facilite el reconocimiento de cada criterio del material candidato, con lo cual en el presente estudio se considera:

- A. Fracción Volumétrica del Refuerzo (%)
- B. Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]
- C. Módulo de Young [MPa]
- D. Esfuerzo Máximo a la Flexión [MPa]
- E. Módulo de Flexión [MPa]
- F. Densidad [gr/cm^3]
- G. Costo de Fibra [\$/Kg]

Con dicho criterio de nomenclatura y en base a la experiencia del decisor o por medio de revisión bibliográfica se considera cual de dichos criterios tiene un rango de carácter positivo o negativo en función de lo que se desea obtener como parámetro de selección final, siendo así un criterio positivo si lo que se busca es una selección en la cual se necesita un aumento de dicha propiedad o criterio y siendo de carácter negativo si se desea a su vez una reducción del mismo criterio, con lo cual se define cuál de los criterios seleccionados poseen un carácter positivo o negativo en función de las necesidades de selección.

2.8.1. Método COPRAS

En dicho método de selección multicriterio se toma la alternativa mediante una consideración de soluciones tanto ideales como no ideales, en donde se tiene una ponderación y evaluación en función de la importancia y grado de relevancia de los elementos candidatos, con lo cual para la

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

ejecución de dicho método se debe de tomar en consideración los siguientes puntos (Pasantez, 2019).

- *Punto 1:* Elaboración de la matriz de decisión Normalizada (x_{ij}^*), dicha matriz es la que se obtiene en el punto 2 de la ponderación de criterios de Entropía P_{ij} , con ayuda de la ecuación 1.
- *Punto 2:* Construcción de la matriz de decisión Normalizada Ponderada (D_{ij}), la cual se la obtiene mediante la aplicación de la ecuación 5 :

$$D_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Donde cada parámetro perteneciente a la matriz (D_{ij}) es el producto del peso en cada criterio obtenido por el método de Entropía junto con los valores de la matriz normalizada (x_{ij}^*).

- *Punto 3:* Obtención de los pesos Normalizados tomando en consideración los criterios beneficiosos (S_{i+}), y los no beneficiosos (S_{i-}), por medio de las ecuaciones:

$$S_{i+} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (6)$$

$$S_{i-} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (7)$$

Se debe tener en consideración que los valores de (S_{i+}) son tomados del criterio positivo en los parámetros iniciales de la metodología MCDM, de la misma manera (S_{i-}), con los parámetros negativos en la metodología MCDM.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- *Punto 4:* Elaboración del cálculo de la importancia relativa de las alternativas (Q_i), por medio de la ecuación 8 :

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (8)$$

Con lo cual se tiene que el parámetro (Q_i), demuestra el grado de satisfacción que se logra alcanzar por una alternativa.

- *Punto 5:* Se efectúa el índice de rendimiento (P_i) con el uso de la ecuación:

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (9)$$

Con lo que se tiene Q_{max} que es el máximo valor de la importancia relativa efectuado en el punto 4, siendo así el parámetro (P_i) el índice utilizado para la clasificación completa de los materiales candidatos, considerando como prioridad de selección el material con el máximo valor de (P_i).

2.8.2. Método VIKOR

En dicho método MCDM lo que se pretende es definir soluciones de carácter positivo y negativo, con lo cual el proceso de selección será de acuerdo a dichas soluciones de carácter positivo y negativo, siendo así una ponderación positiva la de valor más elevado y la de carácter negativa la de valor más bajo cuya ponderación tienda a cero (Vaca et al., 2020).

Para efectuar dicho método se sigue los puntos siguientes:

- *Punto 1:* Elaboración de matriz de decisión inicial, la cual es la misma que se efectúa en el punto 1 del método de ponderación de criterios de Entropía, la cual es una matriz

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

que se forma a partir de los criterios de selección para la selección del material con mejores características.

- *Punto 2:* Generación de la matriz de decisión inicial normalizada (f_{ij}), con ayuda de la ecuación:

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

- *Punto 3:* Se efectúa el cálculo del peor valor (f_i^-) de todas las funciones de criterios de las alternativas y el mejor valor (f_i^*) con ayuda de las ecuaciones:

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Con lo cual se tendrá una consideración del carácter positivo y negativo de la selección.

- *Punto 4:* Se efectúa el cálculo de las distancias ideales positivas (S_i), y de las soluciones ideales negativas (R_i) con las ecuaciones 13 y 14.

$$S_i = \sum_j^n W_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (13)$$

$$R_i = \text{Max}_j [W_j f_i^* - f_{ij}] / (f_i^* - f_i^-) \quad (14)$$

- *Punto 5:* Cálculo de la solución de valores (I_i), determinados por las distancias ideales positivas y las soluciones ideales negativas (R_i).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$I_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (15)$$

Teniendo así:

✓ $S^* = \text{Min } S_i$

✓ $S^- = \text{Max } S_i$

✓ $R^* = \text{Min } R_i$

✓ $R^- = \text{Max } R_i$

Considerando también que el factor (v) es una referencia de ponderación cuyo valor puede ir de ($v \geq 0.5$) $(R_i - R^*) / (R^- - R^*)$, siendo así la distancia a la solución ideal negativa de los valores i th.

- *Punto 6:* Selección de la mejor opción del material candidato, tomando en consideración que la mejor opción será el material con mejor ponderación en el parámetro I.

2.8.3. Método TOPSIS

Dicho método MCDM se enfoca en una solución la cual este próxima a un resultado ideal, mediante la elección de opciones lo más cercanas posibles a valores positivos ideales y de la misma forma la selección de valores lo más lejanos posibles a resultados negativos no ideales, con lo cual nos ayuda a tener una valoración más clara de la mejor opción del candidato a seleccionar (Vaca et al., 2020) .

La elaboración de dicho método MCDM está apoyado en la ejecución de los puntos siguientes:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- *Punto 1:* Elaboración de matriz de decisión inicial, la cual es la misma que se efectúa en el punto 1 del método de ponderación de criterios de Entropía, la cual es una matriz que se forma a partir de los criterios de selección para la elección del material con mejores características.
- *Punto 2:* Generación de la matriz de decisión Normalizada (f_{ij}), dicha matriz es la misma que se elabora en el punto 2 del método VIKOR por medio de la ecuación 10, obteniendo una matriz igual a:

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

- *Punto 3:* Elaboración de la matriz de decisión Normalizada Ponderada, dicha matriz es el resultado del producto del peso del criterio que se generó con el método de la ENTROPÍA, por cada uno de los elementos de la matriz de decisión Normalizada (f_{ij}).
- *Punto 4:* Elaboración de las alternativas ideales positivas y las alternativas ideales negativas (anti-ideales), utilizando la ecuación :

$$A^* = \{(max_i V_{ij} | j \in J), (min_i V_{ij} | j \in J) = (V_1^*, V_2^*, \dots \dots V_n^*)\} \quad (16)$$

Con dicha ecuación se logra determinar la característica del criterio, dado que se tiene características ideales positivas y alternativas anti-ideal.

- *Punto 5:* Cálculo de las medidas promedio de las alternativas, con ayuda de las ecuaciones:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_i^+)^2} \quad (17)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_i^-)^2} \quad (18)$$

En donde se tiene que:

- ✓ d_i^+ Es la separación positiva a las medidas promedio de las alternativas
- ✓ d_i^- Es la separación Negativa a as medidas promedio de las alternativas
- *Punto 6:* Cálculo de la proximidad relativa a la alternativa con la ecuación:

$$R_{si} = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (19)$$

- *Punto 7:* Generación de la tabla de ponderación de los criterios, en donde se coloca el Ranking de los mismos siendo la mejor opción de selección los elementos con un mayor valor de proximidad relativa.

2.9. Simulación Estática

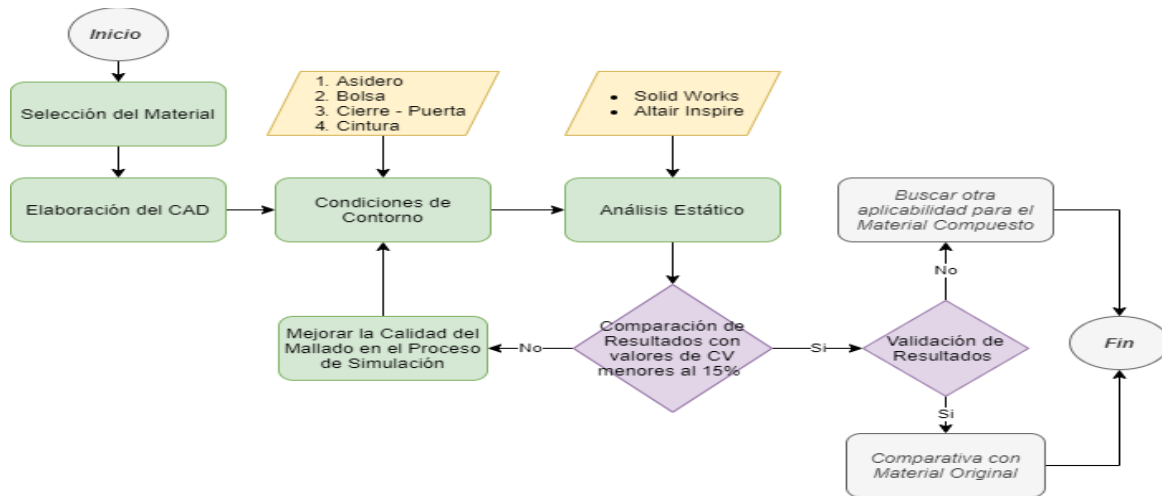
Una vez realizada la selección del mejor material compuesto de matriz polimérica y de fibra vegetal por medio de criterios MCDM explicados en el apartado anterior, se procede a la verificación de la autoparte seleccionada en el presente trabajo (panel interno de la compuerta de un vehículo), con lo cual se busca dar una validación mediante ensayos de carga estática computacional a dicha autoparte con el mejor material seleccionado, con el objetivo de dar una aplicabilidad a estudios previos de caracterización mecánica de materiales compuestos de matriz poliéster y fibra natural que se produce en territorio Ecuatoriano.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

La metodología empleada para el apartado de simulación y caracterización estática se representa en el siguiente diagrama de flujo siendo así:

Figura 17.

Diagrama de Flujo en la Simulación Estática.



Nota. CV = Coeficiente de Variación de resultados al realizar la comparativa entre la simulación en Solid Works y Altair Inspire.

2.9.1. Selección del Material

La selección del material compuesto depende de los resultados obtenidos por los métodos multicriterios MCDM elaborados en el presente estudio (TOPSIS, VIKOR, COPRAS), descritos en el apartado 2.8.

2.9.2. Elaboración del Modelo CAD

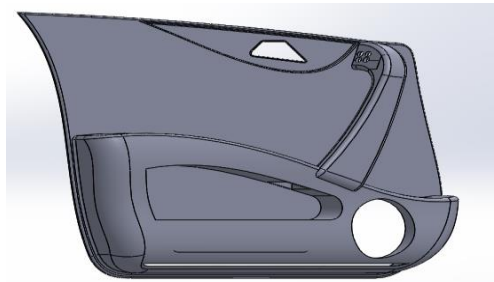
Para la elaboración del modelo CAD, se utiliza el software Solid Works versión 2017 con la licencia educativa Figura 18, cabe señalar que se toma como base un modelo estándar en la elaboración del CAD del panel interno de la compuerta de un vehículo, esto debido a que se desea tener una caracterización estática computacional para todo tipo de compuerta de automóvil pequeño, sin enfocarse a un modelo específico de auto, debido a que se tomará en cuenta

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

aspectos de cargas puntuales en zonas comunes del panel interno de las compuertas de un automóvil.

Figura 18.

Módelo CAD del panel Interno de la compuerta de un automóvil.



2.9.3. *Condiciones de Contorno*

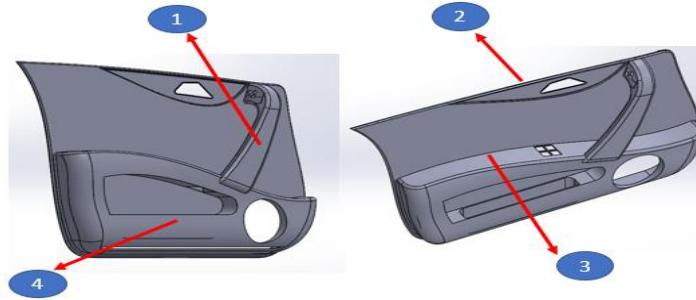
Una vez elaborado el diseño en CAD y en base a los elementos del panel interno de las compuertas de un vehículo Figura 6 y Figura 7. Se considera la magnitud de la carga y la zona en la cual estas estarían actuando en el panel interno de las compuertas del vehículo, para lo cual en base a la investigación realizada por (Obis, 2015), se tiene que las zonas donde en donde el usuario o conductor tiende a generar cargas son:

- Soporte (Abrir- Cerrar) puerta (1)
- Cintura (2)
- Botonera / Asidero (3)
- Bolsa (4)

Figura 19.

Zonas de acción de la carga en el panel interno del vehículo

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



Los parámetros de aplicación de la carga se explican en el recuadro siguiente:

Tabla 10

Parámetros de Aplicación de Carga

Zona del Panel Interno del Vehículo	Carga (N)	Deformación Permissible (mm)
Cintura	300	3
Apoya Brazos	500	3
Soporte (Abrir- Cerrar) puerta	500	4
Bolsa	200	3

Fuente : (Obis, 2015)

2.9.4. *Análisis Estático*

Para el análisis estático se apoya en el uso del Software Solid Works con el módulo (Solid Works Simulation) y para la validación de los resultados se utiliza el software Inspire con el solver de análisis estático, para lo cual se procede a cargar el sólido CAD en extensión .step al programa los programas de simulación y posteriormente se realiza una revisión de geometría con la finalidad de no tener superficies abiertas o irregularidades en la geometría que impidan un correcto mallado sólido del CAD y así poder obtener datos confiables en el análisis.

2.9.4.1 *Análisis estático en Solid Works.*

Como paso inicial para el proceso de simulación una vez importada y cargada la geometría CAD en el software se procede a la activación del módulo de simulación y posteriormente al apartado de generación de análisis estático dentro del programa.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 20.

Activación del módulo de simulación y selección del análisis estático

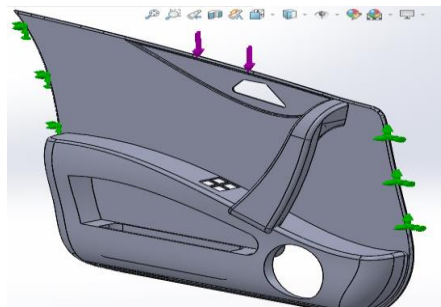


Con el análisis estático seleccionado y la geometría importada se procede a la colocación de las cargas y restricciones dentro del modelo, con las consideraciones que se especifican en el apartado 2.9.3, cabe señalar que dentro de las restricciones de movilidad que va a tener el panel de la compuerta del vehículo las mismas estarán ubicadas en las partes laterales del panel, esto con la finalidad de poder simular cuando la puerta está completamente cerrada y se tiene zonas de sujeción en las partes laterales de la puerta, teniendo así entonces:

- Condiciones de Simulación en la Cintura

Figura 21.

Fuerzas aplicadas en la cintura con magnitud de 300 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel

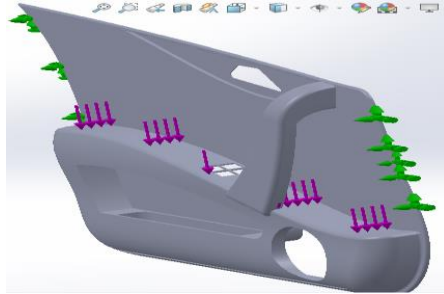


- Condiciones de Simulación en la botonera y asidero

Figura 22.

Fuerzas aplicadas en la botonera y asidero de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel.

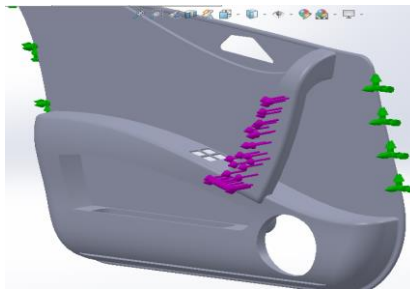
SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



- Condiciones de Simulación en el cierre de la puerta

Figura 23.

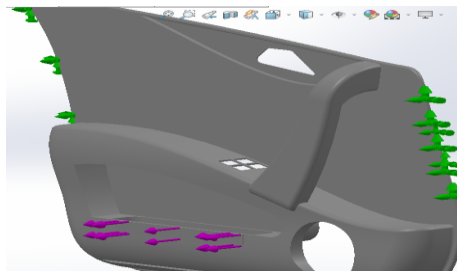
Fuerzas aplicadas al cierre de compuerta de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel



- Condiciones de Simulación en la Bolsa del panel de la compuerta del vehículo

Figura 24.

Fuerzas aplicadas en la bolsa del panel de 200 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel



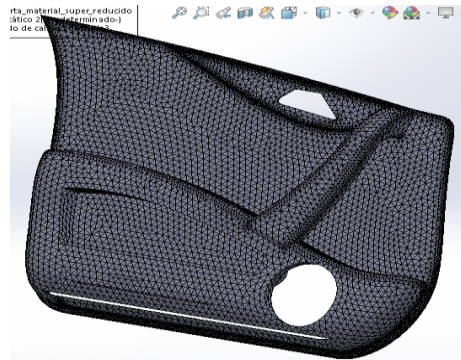
Una vez establecido los casos de estudio para las cargas tanto en cintura, asidero, cierre de puerta y bolsa se procede a la elaboración de la malla sólida tetraédrica del elemento CAD, para lo cual dado que se tiene una geometría de figura un tanto compleja y dado a la irregularidad que presenta su superficie en ciertas zonas del elemento al tener superficies curvas se utiliza una

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

malla basada en curvatura de combinado con un tamaño de 16 mm debido a las limitante del sistema dado que si se desea reducir más el tamaño de malla ocasiona problemas que impiden el proceso de simulación por falta de memoria computacional, teniendo así:

Figura 25.

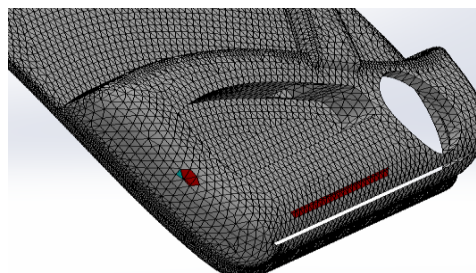
Malla del elemento con el tipo de mallado basado en curvatura de combinado



Al establecer un trazado para poder evaluar la calidad del mallado se observa múltiples imperfecciones en el mismo siendo una de ellas elevados cocientes de aspecto especialmente en las zonas de la bolsa donde existe un cambio en la curvatura de superficie del modelo.

Figura 26.

Mallado con calidad baja con un coeficiente de aspecto elevado



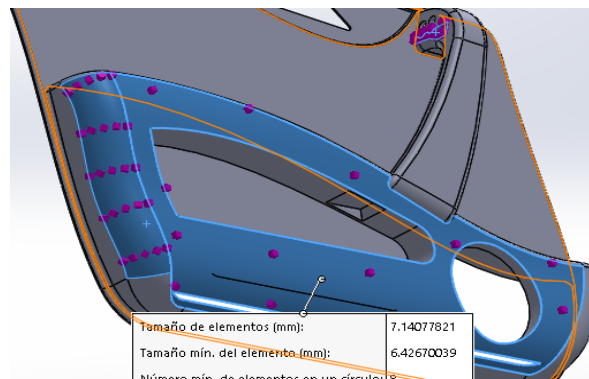
Con la finalidad de obtener un mallado de mayor calidad y considerando que se necesita realizar una validación posterior de resultados se procede a mejorar el coeficiente de aspecto de tal forma que los valores estén lo más cercanos posibles a la unidad, con lo cual se puede reducir el tamaño de malla del elemento pero por limitaciones del equipo por la falta de memoria

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

computacional se considera realizar un refinamiento por medio de un control de malla en las zonas en donde se tiene elevado coeficiente de aspecto con un tamaño fino de 7 mm .

Figura 27.

Zonas en donde se aplicó un control de malla

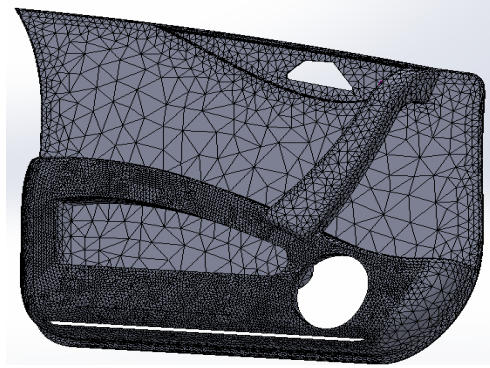


De la misma manera se ejecuta cambios en la malla del elemento considerando que ahora se tendrá un mallado basado en curvatura según recomendaciones de la página de SolidWorks al momento de efectuar un control de malla, con lo cual se utiliza un tamaño de malla de 40 mm con un tamaño mínimo del elemento de malla sólida de 8 mm esto con la finalidad de evitar contradicciones en el software al momento de generar el mallado y también considerando las limitaciones del equipo, señalando así que en las zonas en donde no se requiere un análisis de esfuerzo o donde no actúa una carga no es imperativo el uso de un mallado muy fino con la finalidad de optimizar recursos computacionales (SolidWorks.Corps, 2019).

Figura 28.

Mallado del Elemento con un control de malla en las zonas donde se presenta coeficiente de aspecto elevado

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



Con las condiciones de frontera y el mallado establecido se procede a cargar en la librería del software las características del material para el proceso de simulado, considerando propiedades como su esfuerzo máximo a tracción, esfuerzo de flexión y coeficiente de poisson, dichas propiedades serán tomadas en función del resultado obtenido en el proceso de selección del mejor material basado en los criterios MCDM y se lo compara con el material originalmente usado para la elaboración de paneles de compuertas de vehículos.

2.9.4.2 *Análisis Estático en Altair Inspire*

De manera análoga se importa la geometría CAD en formato step del panel de la compuerta del vehículo al software Altair Inspire con licencia educativa de la UISEK, programa con el cual se permite la elaboración del diseño Generativo por medio de Optimización Topológica y posee un solver de análisis estático mediante un proceso de simulación rápida, el cual está basado en la metodología tradicional de elementos finitos con la elaboración de un mallado sólido tetraédrico del componente conjuntamente con un análisis de distribución de esfuerzos por medio de la colocación de las condiciones de frontera que se empleen en el elemento como cargas o restricciones a las cuales se encuentre sometido (Altair, 2021).

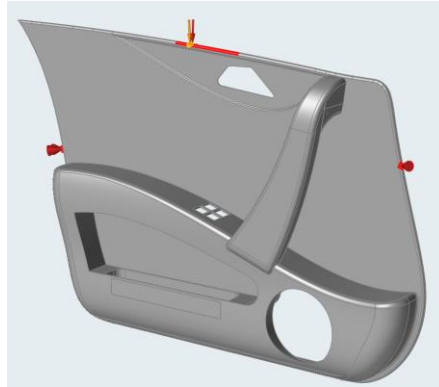
Al igual que en análisis en Solid Works se procede a la colocación de las condiciones iniciales de carga y restricción del elemento siendo así:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Condiciones de Simulación en la Cintura

Figura 29.

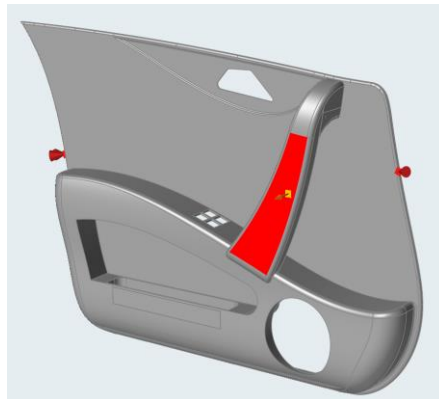
Fuerzas aplicadas en la cintura con magnitud de 300 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel dentro del Software Inspire.



- Condiciones de Simulación al cierre de la puerta

Figura 30.

Fuerzas aplicadas al cierre de compuerta de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel en el Software Inspire.



- Condiciones de Simulación en el asidero/botonera

Figura 31.

Fuerzas aplicadas en la botonera y asidero de 500 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel Software Inspire.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



- Condiciones de Simulación en la bolsa de la compuerta del vehículo

Figura 32.

Fuerzas aplicadas en la bolsa del panel de 200 N junto con restricciones de movilidad en las paredes laterales del panel



Una vez establecido parámetros de frontera (cargas - restricciones) se coloca las propiedades del material a evaluar dentro del software, considerando los mismos criterios tomados en el apartado de simulación estática con el software de Solid Works.

Dentro de los parámetros de mallado al momento de ejecutar el análisis se considera aspectos como el tamaño de malla con un tamaño de 0,23 cm, también la selección de todos los casos de carga en el análisis con un seteo de rapidez de precisión muy preciso con la finalidad de tener buenos resultados a costas de los recursos computacionales ya que este tipo de seteo puede llevar a largos tiempos de simulado.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

2.10. Análisis de Frecuencia

El análisis de los modos de vibrar del elemento es un apartado importante en el análisis del panel de la compuerta interna de un vehículo, esto debido a las vibraciones que puede ocasionar el motor de auto al momento de funcionar el vehículo, debido a que se desea evitar en el diseño de cualquier elemento mecánico que el mismo entre en resonancia, fenómeno por el cual un cuerpo es sometido a fuerzas de carácter periódico en el que su frecuencia natural coincide con la frecuencia del medio y esto a su vez puede generar deformaciones o movimientos indeseables en el mecanismo que pueden generar la falla del mismo (DÍAZ, 2019), motivo por el cual se realiza en la investigación un análisis con varios modos de vibrar del elemento tanto en el software de Solid Works como en Altair Inspire.

2.11. Validación de Resultados

En dicho apartado lo que se busca es tener un error porcentual menor al 15 % con respecto a los resultados arrojados en ambos software de modelado y simulación mecánica, esto dado que en estudios como (Velilla & Mendoza, 2015) se realiza un estudio comparativo estructural de un modelo simulado en Ansys en donde se determina el error porcentual admisible mediante parámetros matemáticos en experimentación y se determina que un error permisible no debe exceder el 15 % para no afectar su grado de confiabilidad. De la misma manera en estudios como (Alean, Gutiérrez, Chejne, & Bastidas, 2009) en donde se realiza una comparativa de simulaciones térmicas con respecto a una torre de enfriamiento frente a resultados obtenidos de forma experimental obteniendo errores porcentuales por debajo del 15% para la corroboración de la confiabilidad del software de simulación.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

2.12. Simulación Dinámica

Al considerar que se tiene una autoparte la cual no va a estar sometida a cargas de impacto, y considerando el apartado netamente estético que cumple el panel interno de las compuertas del vehículo la simulación dinámica de impacto no se realizará en la presente investigación, esto debido a investigaciones tales como (Obis, 2015) en donde demuestran que el panel interno de la compuerta del vehículo está elaborado por plásticos, además de presentarse otros estudios como (Roxana Elizabeth Valencia Navarrete, 2019) en donde se intenta realizar una simulación en impacto lateral para un panel interno de material compuesto y se obtiene valores muy por debajo de los requeridos y no sería de utilidad elaborar un análisis de impacto apoyándose en la normativa FMVSS “Federal Motor Vehicle Safety Standards”, las cuales son un conjunto de normas emitidas especialmente por el mercado americano, en donde se rigen aspectos como el diseño, montaje, pruebas, etc., respecto a la producción y evaluación de automotores.

Si no se considera a la puerta completa del vehículo con panel externo, elementos medios (barra de seguridad) y panel interno para poder absorber la carga de impacto lateral y proteger la integridad de las personas que se encuentran dentro del habitáculo del vehículo recomendados por la normativa (FMVSS, 2018), por tal motivo y basándose en el diagrama de flujo de la Figura 17, en base a los resultados obtenidos por la simulación estática y validación de resultados se realizará una comparativa con el material original común empleado para la elaboración de paneles internos de la compuerta del vehículo para poder identificar como actúa el material compuesto seleccionado frente al material original empleado en el cuerpo del panel de la compuerta de un automóvil.

CAPÍTULO III

3. Resultados

3.1. Metodología Prisma.

En base a la lista de bibliografía obtenida por la revisión sistemática aplicando la metodología prisma apartado 2.4 en la presente investigación, se realiza un filtrado de literatura con la finalidad de obtener de entre toda la lista de bibliografía aquella que aporte información relevante al proceso de investigación, para lo cual se toma en cuenta criterios de exclusión y de inclusión, siendo así:

Criterios de Inclusión:

- Desde el año (2014-2020)
- Idioma (Español - Inglés)

Criterios de Exclusión:

- No se admiten artículos de opinión
- Devén de ser investigaciones completas
- Artículos o Investigaciones repetidas
- Información que no converge al objetivo de Investigación

En base a dichos criterios se tiene bibliografía inicial para el proceso de investigación:

Tabla 11

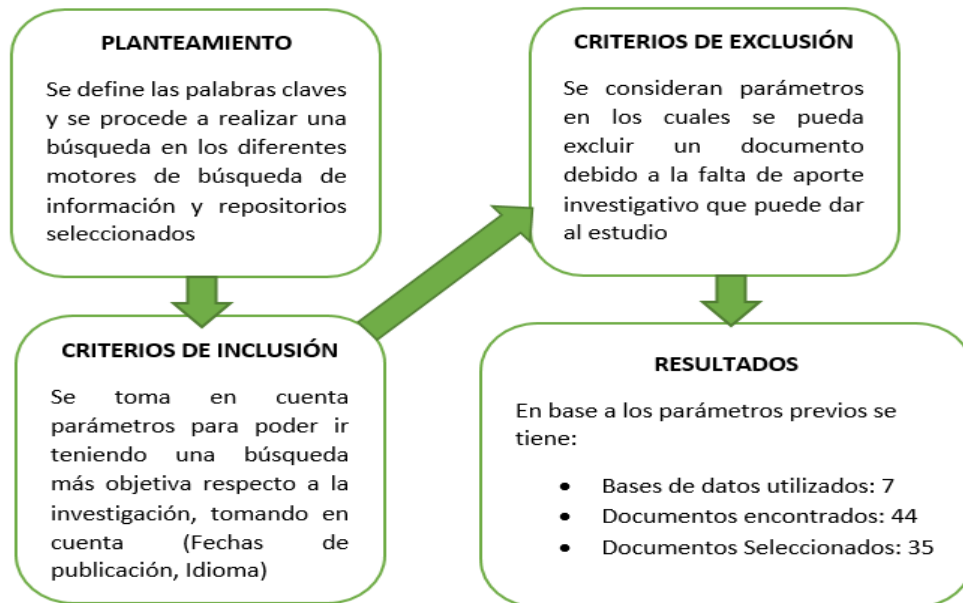
Procesamiento de fuentes bibliográficas en varias fuentes de información.

Palabras Clave	Base de Datos	Encontrados	Seleccionados	Porcentajes
• Material Compuesto	Google Académico	10	5	11%
• Matriz Polimérica	Scielo	2	1	2%
• Fibra natural	Redalyc	2	1	2%
• Autoparte	Latindex	1	1	2%
• Simulación de	Ebsco	2	2	5%
impacto lateral	Scopus	7	7	16%
• Paneles de vehículos	Otros	20	18	41%
• Método multicriterio	TOTAL	44	35	80 %

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 33.

Procesos de Selección Bibliográfica mediante la Metodología PRISMA.



3.2. Cálculos para la selección del material para el panel de la compuerta de un auto.

De la Tabla 8, se obtiene los criterios de selección para los materiales candidatos en base a las necesidades mínimas que debe cumplir el panel de la compuerta del vehículo, con lo cual con el objetivo de poder facilitar el cálculo se utiliza la siguiente simbología para de las propiedades de cada material candidato descrito en el apartado 2.8 de la presente investigación teniendo así:

- Fracción Volumétrica del Refuerzo (%)
- Esfuerzo Máximo a la Tracción [MPa]
- Módulo de Young [MPa]
- Esfuerzo Máximo a la Flexión [MPa]
- Módulo de Flexión [MPa]
- Densidad [gr/cm^3]
- Costo de Fibra [\$/Kg]

En base a la dicha simbología se elabora la matriz de decisión estándar:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 12

Matriz de Decisión Estándar.

Material Compuesto	A	B	C	D	E	F	G
Tejido de Yute tipo plano (Pre- Carga 15%)	4,78	34,68	1930	61,86	2337,8	1,1048	2
Fibra de Banano corta (Mercerización)	10	35,73	1304,84	50,56	3675,47	1,158	0,67
Fibra de Piña (Mercerización)	15	44,47	1524,23	74,96	2140	1,298	2
Fibra corta de Coco (Mercerización)	30	21,88	3118,05	1,321	3198,46	1,071	0,2
Fibra de Cabuya	39	74,32	4025,6	61,78	2953,48	1,056	0,25
Fibra de Bambú (Mercerización)	10,11	34,32	7160	83,01	4160	1,128	2,5
Tejido de Abacá Tipo satín	20	27,5	10462	62,4	3976	1,173	3

$$M = \begin{bmatrix} 4.78 & 34.68 & 1930 & 1.86 & 2337.8 & 1.148 & 2 \\ 10 & 35.73 & 1304.84 & 50.56 & 3675.47 & 1.158 & 0.67 \\ 15 & 44.47 & 1524.23 & 74.96 & 2140 & 1.298 & 2 \\ 30 & 21.88 & 3118.5 & 1.321 & 3198.46 & 1.071 & 0.2 \\ 39 & 74.32 & 4025.6 & 61.78 & 253.48 & 1.056 & 0.25 \\ 10.11 & 34.32 & 7160 & 83.01 & 4160 & 1.128 & 2.5 \\ 20 & 27.5 & 10462 & 62.4 & 3976 & 1.173 & 3 \end{bmatrix}$$

Se considera también los criterios de carácter positivo y negativo siendo así:

Tabla 13

Criterios de Selección de Carácter Positivo y Negativo

A	B	C	D	E	F	G
+	+	+	+	+	-	-

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

En la Tabla 13, se presenta la consideración del selector para los criterios positivos y negativos, en base a las especificaciones mínimas que debe de cumplir el panel interno de la compuerta de un auto, teniendo así aspectos como esfuerzo máximo a la tracción y flexión elevados para aumentar las posibilidades del elemento de soportar cargas, de igual manera la fracción volumétrica con el objetivo de aumentar su apartado de biodegradabilidad debido a un incremento en su cantidad de material lignocelulósico en su fase dispersa. Considerando también que los apartados como su densidad y costo deben de ser bajos para reducir su peso y costo de fabricación.

3.3. Método de Entropía para la ponderación de los pesos en los criterios.

Una vez elaborada la matriz de decisión estándar se procede a calcular la ponderación y evaluación de los criterios, para ello se emplea el método de la entropía, con la finalidad de poder obtener una ponderación más objetiva, basándose en el supuesto en la cual un criterio posee mayor ponderación cuanto mayor diversidad exista en sus evaluaciones, además de considerar que se tiene criterios de carácter cuantitativo. Para la ejecución del método de Entropía y con la matriz de decisión estándar previamente elaborada, se tiene:

- Cálculo de la matriz de decisión normalizada P_{ij} , por medio de la ecuación (1).

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (i = 1,2,3 \dots, m; j = 1,2,3 \dots, n) \quad (1)$$

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 0.0371 & 0.1271 & 0.0654 & 0.1563 & 0.1042 & 0.1383 & 0.1883 \\ 0.0776 & 0.1209 & 0.0442 & 0.1277 & 0.1638 & 0.145 & 0.0631 \\ 0.1164 & 0.163 & 0.0516 & 0.1893 & 0.0954 & 0.1625 & 0.1883 \\ 0.2328 & 0.0802 & 0.1056 & 0.0033 & 0.1425 & 0.1341 & 0.0188 \\ 0.3026 & 0.2723 & 0.1363 & 0.1561 & 0.1316 & 0.1322 & 0.0235 \\ 0.0784 & 0.1258 & 0.2425 & 0.2097 & 0.1854 & 0.1412 & 0.2354 \\ 0.1552 & 0.1008 & 0.3543 & 0.1576 & 0.1772 & 0.1468 & 0.2825 \end{bmatrix}$$

Tabla 14

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Matriz de Decisión Normalizada.

A	B	C	D	E	F	G
0,0371	0,1271	0,0654	0,1563	0,1042	0,1383	0,1883
0,0776	0,1309	0,0442	0,1277	0,1638	0,1450	0,0631
0,1164	0,1630	0,0516	0,1893	0,0954	0,1625	0,1883
0,2328	0,0802	0,1056	0,0033	0,1425	0,1341	0,0188
0,3026	0,2723	0,1363	0,1561	0,1316	0,1322	0,0235
0,0784	0,1258	0,2425	0,2097	0,1854	0,1412	0,2354
0,1552	0,1008	0,3543	0,1576	0,1772	0,1468	0,2825

- Determinación de la Entropía (E_j) por medio de la ecuación (2).

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right), \quad j = 1,2,3, \dots, n \quad (2)$$

En la cual se tiene:

$k = 1/\ln(m)$; Donde: $m =$ número de alternativas en la matriz de evaluación normalizada.

$m = 7$;

$p_{ij} =$ Criterios Normalizados;

Teniendo así para el caso de número de criterios de selección j :

$$E_i = |E_1 \quad E_2 \quad E_3 \quad E_4 \quad E_5 \quad E_6 \quad E_7|$$

Tabla 15

Valores de Entropía E_i .

E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7
0,9046	0,9621	0,8680	0,9226	0,9863	0,9987	0,8549

- Cálculo de la Diversidad de Criterio (D_j), por medio de la ecuación (3).

$$D_j = 1 - E_i \quad (3)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$D_j = |D_1 \quad D_2 \quad D_3 \quad D_4 \quad D_5 \quad D_6 \quad D_7|$$

Con lo cual efectuando la ecuación (3) se tiene:

$$D_1 = 1 - 0,9046 = 0,0954$$

$$D_2 = 1 - E_2$$

$$D_2 = 1 - 0,9621 = 0,0379$$

$$D_3 = 1 - E_3$$

$$D_3 = 1 - 0,8680 = 0,1320$$

$$D_4 = 1 - E_4$$

$$D_4 = 1 - 0,9226 = 0,0774$$

$$D_5 = 1 - E_5$$

$$D_5 = 1 - 0,9863 = 0,0137$$

$$D_6 = 1 - E_6$$

$$D_6 = 1 - 0,9987 = 0,0013$$

$$D_7 = 1 - E_7$$

$$D_7 = 1 - 0,8549 = 0,1451$$

Teniendo así:

$$D_j = |0,0954 \quad 0,0379 \quad 0,1320 \quad 0,0774 \quad 0,0137 \quad 0,0013 \quad 0,1451|$$

Tabla 16

Diversidad de Criterio (Dj).

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
0,0954	0,0379	0,1320	0,0774	0,0137	0,0013	0,1451

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Elaboración de los pesos normalizados de cada criterio (W_j), por medio de la ecuación (4).

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m (D_j)} \quad (4)$$

Efectuando la ecuación (4) se tiene:

$$\sum_{i=1}^7 (D_j) = (0,0954) + (0,0379) + (0,1320) + (0,0774) + (0,0137) + (0,0013) + (0,1451) \\ = 0.5027$$

$$W_1 = \frac{(D_{j1})}{0.5027} = \frac{(0,0954)}{0.5027} = 0.18975$$

$$W_2 = \frac{(D_{j2})}{0.5027} = \frac{(0,0379)}{0.5027} = 0.07535$$

$$W_3 = \frac{(D_{j3})}{0.5027} = \frac{(0,1320)}{0.5027} = 0.2625$$

$$W_4 = \frac{(D_{j4})}{0.5027} = \frac{(0,0774)}{0.5027} = 0.15394$$

$$W_5 = \frac{(D_{j5})}{0.5027} = \frac{(0,0137)}{0.5027} = 0.02722$$

$$W_6 = \frac{(D_{j6})}{0.5027} = \frac{(0,0013)}{0.5027} = 0.00256$$

$$W_7 = \frac{(D_{j7})}{0.5027} = \frac{(0,1451)}{0.5027} = 0.28868$$

$$W_j = |W_1 \quad W_2 \quad W_3 \quad W_4 \quad W_5 \quad W_6 \quad W_7|$$

$$W_j = |0.18975 \quad 0.07535 \quad 0.2625 \quad 0.15394 \quad 0.02722 \quad 0.00256 \quad 0.28868|$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 17

Pesos de Normalizados de Criterios W_j .

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
0,18975	0,07535	0,26250	0,15394	0,02722	0,00256	0,28868

En base a los pesos normalizados de Criterios se procede a la aplicación de los métodos de selección multicriterio MCDM, señalando que la tabla de pesos Normalizados de Criterios ayudará a la ejecución de los métodos MCDM aplicados en la investigación.

3.4. Métodos Multicriterios MCDM.

3.4.1. Método COPRAS.

En el método COPRAS se selecciona alternativas considerando las soluciones más ideales y las peores ideales, con lo cual en la ejecución del mismo se tiene:

- Elaboración de la Matriz de decisión Normalizada (x_{ij}^*), dicha matriz es la que se calculó de forma inicial en la ponderación de los criterios por el método de la Entropía, P_{ij} por medio de la ecuación (1) y tabulados en la *Tabla. Matriz de Decisión Normalizada* (Tabla 14). Con lo cual se tiene:

$$x_{ij}^* = \begin{bmatrix} 0.0371 & 0.1271 & 0.0654 & 0.1563 & 0.1042 & 0.1383 & 0.1883 \\ 0.0776 & 0.1209 & 0.0442 & 0.1277 & 0.1638 & 0.145 & 0.0631 \\ 0.1164 & 0.163 & 0.0516 & 0.1893 & 0.0954 & 0.1625 & 0.1883 \\ 0.2328 & 0.0802 & 0.1056 & 0.0033 & 0.1425 & 0.1341 & 0.0188 \\ 0.3026 & 0.2723 & 0.1363 & 0.1561 & 0.1316 & 0.1322 & 0.0235 \\ 0.0784 & 0.1258 & 0.2425 & 0.2097 & 0.1854 & 0.1412 & 0.2354 \\ 0.1552 & 0.1008 & 0.3543 & 0.1576 & 0.1772 & 0.1468 & 0.2825 \end{bmatrix}$$

Tabla 18

Matriz de Decisión Normalizada (X_{ij}^).*

A	B	C	D	E	F	G
0,0371	0,1271	0,0654	0,1563	0,1042	0,1383	0,1883
0,0776	0,1309	0,0442	0,1277	0,1638	0,1450	0,0631

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

0,1164	0,1630	0,0516	0,1893	0,0954	0,1625	0,1883
0,2328	0,0802	0,1056	0,0033	0,1425	0,1341	0,0188
0,3026	0,2723	0,1363	0,1561	0,1316	0,1322	0,0235
0,0784	0,1258	0,2425	0,2097	0,1854	0,1412	0,2354
0,1552	0,1008	0,3543	0,1576	0,1772	0,1468	0,2825

- Una vez tabulada la Matriz de decisión Normalizada (x_{ij}^*), se construye la matriz de Decisión Normalizada Ponderada (D_{ij}), aplicando la ecuación (5).

$$D_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Con lo cual se elabora la matriz D_{ij} por medio del producto del peso calculado en cada criterio por medio de Entropía junto con los valores de la matriz normalizada, teniendo así:

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} 0,007 & 0,0096 & 0,0172 & 0,0241 & 0,002836 & 0,000353 & 0,0544 \\ 0,0147 & 0,0099 & 0,0116 & 0,0197 & 0,00446 & 0,00037 & 0,0182 \\ 0,0221 & 0,0123 & 0,0136 & 0,0291 & 0,002596 & 0,000415 & 0,0544 \\ 0,0441 & 0,006 & 0,0277 & 0,0005 & 0,00389 & 0,000343 & 0,0054 \\ 0,0574 & 0,0205 & 0,0358 & 0,024 & 0,00358 & 0,000338 & 0,0068 \\ 0,0149 & 0,0095 & 0,0637 & 0,0323 & 0,005046 & 0,000361 & 0,068 \\ 0,0294 & 0,0076 & 0,0930 & 0,0243 & 0,004823 & 0,000375 & 0,0815 \end{bmatrix}$$

Tabla 19

Matriz de decisión Normalizada de Pesos D_{ij} .

MATERIALES	A	B	C	D	E	F	G
1	0,0070	0,0096	0,0172	0,0241	0,002836	0,000353	0,0544
2	0,0147	0,0099	0,0116	0,0197	0,004459	0,000370	0,0182
3	0,0221	0,0123	0,0136	0,0291	0,002596	0,000415	0,0544
4	0,0442	0,0060	0,0277	0,0005	0,003880	0,000343	0,0054
5	0,0574	0,0205	0,0358	0,0240	0,003583	0,000338	0,0068
6	0,0149	0,0095	0,0637	0,0323	0,005046	0,000361	0,0680
7	0,0294	0,0076	0,0930	0,0243	0,004823	0,000375	0,0815

- Cálculo de los pesos Normalizados considerando los criterios tanto beneficiosos (S_{i+}), como no – beneficiosos (S_{i-}), por medio de las ecuaciones (6) y (8):

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$S_{i+} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (6)$$

Teniendo así:

$$S_{+1} = \sum_{k=1}^k D_{+1j}$$

$$= 0.007 + 0.0096 + 0.0172 + 0.0241 + 0.00284 = 0.0607$$

$$S_{+2} = \sum_{k=1}^k D_{+2j}$$

$$= 0.0147 + 0.0099 + 0.0116 + 0.0197 + 0.004459 = 0.0603$$

$$S_{+3} = \sum_{k=1}^k D_{+3j}$$

$$= 0.0221 + 0.0123 + 0.0136 + 0.0291 + 0.002596 = 0.0797$$

$$S_{+4} = \sum_{k=1}^k D_{+4j}$$

$$= 0.0442 + 0.006 + 0.0277 + 0.0005 + 0.00388 = 0.0823$$

$$S_{+5} = \sum_{k=1}^k D_{+5j}$$

$$= 0.0574 + 0.0205 + 0.0358 + 0.024 + 0.003583 = 0.0574$$

$$S_{+6} = \sum_{k=1}^k D_{+6j}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$= 0.0149 + 0.0095 + 0.0637 + 0.0323 + 0.005046 = 0.0149$$

$$S_{+7} = \sum_{k=1}^k D_{+7j}$$

$$= 0.0294 + 0.0076 + 0.093 + 0.0243 + 0.004823 = 0.0294$$

Aplicando la ecuación (7):

$$S_{i-} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (7)$$

$$S_{-1} = \sum_{k=1}^k D_{-1j} = 0.000353 + 0.0544 = 0.0547$$

$$S_{-2} = \sum_{k=1}^k D_{-2j} = 0.00037 + 0.0182 = 0.0186$$

$$S_{-3} = \sum_{k=1}^k D_{-3j} = 0.000415 + 0.0544 = 0.0548$$

$$S_{-4} = \sum_{k=1}^k D_{-4j} = 0.000343 + 0.0054 = 0.0058$$

$$S_{-5} = \sum_{k=1}^k D_{-5j} = 0.000338 + 0.0068 = 0.0071$$

$$S_{-6} = \sum_{k=1}^k D_{-6j} = 0.000361 + 0.068 = 0.0683$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$S_{-7} = \sum_{k=1}^k D_{-7j} = 0.000375 + 0.0815 = 0.0819$$

Tabla 20

Valores Beneficiosos y No Beneficiosos

S_{1+}	0,0607	S_{1-}	0,0547
S_{2+}	0,0603	S_{2-}	0,0186
S_{3+}	0,0797	S_{3-}	0,0548
S_{4+}	0,0823	S_{4-}	0,0058
S_{5+}	0,1413	S_{5-}	0,0071
S_{6+}	0,1253	S_{6-}	0,0683
S_{7+}	0,1591	S_{7-}	0,0819

- Se efectúa el cálculo de la importancia relativa de las alternativas (Q_i), utilizando la ecuación (8):

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (8)$$

Con lo cual efectuado la ecuación 8 se tiene:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} = S_{+i} + \frac{S_{-1} + S_{-2} + S_{-3} + S_{-4} + S_{-5}}{S_{-i} \left(\frac{1}{S_{-1}} + \frac{1}{S_{-2}} + \frac{1}{S_{-3}} + \frac{1}{S_{-4}} + \frac{1}{S_{-5}} \right)}$$

$$Q_i = S_{+i} + \frac{0.0547 + 0.0186 + 0.0548 + 0.0058 + 0.0071 + 0.683 + 0.0819}{S_{-i} \left(\frac{1}{0.0547} + \frac{1}{0.01861} + \frac{1}{0.0548} + \frac{1}{0.0058} + \frac{1}{0.0071} + \frac{1}{0.683} + \frac{1}{0.0819} \right)}$$

$$Q_i = S_{+i} + \frac{0.2912}{S_{-i}(430.409)}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

$$Q_1 = S_{+1} + \frac{0.2912}{S_{-1}(430.409)} = 0.0607 + \frac{0.4379}{(0.0547)(161.02)} = 0.07303$$

$$Q_2 = S_{+2} + \frac{0.2912}{S_{-2}(430.409)} = 0.0603 + \frac{0.4379}{(0.0186)(161.02)} = 0.09672$$

$$Q_3 = S_{+3} + \frac{0.2912}{S_{-3}(430.409)} = 0.0797 + \frac{0.4379}{(0.0548)(161.02)} = 0.09201$$

$$Q_4 = S_{+4} + \frac{0.2912}{S_{-4}(430.409)} = 0.0823 + \frac{0.4379}{(0.0058)(161.02)} = 0.19941$$

$$Q_5 = S_{+5} + \frac{0.2912}{S_{-5}(430.409)} = 0.1413 + \frac{0.4379}{(0.0071)(161.02)} = 0.23619$$

$$Q_6 = S_{+6} + \frac{0.2912}{S_{-6}(430.409)} = 0.1253 + \frac{0.4379}{(0.683)(161.02)} = 0.1325$$

$$Q_7 = S_{+7} + \frac{0.2912}{S_{-7}(430.409)} = 0.1591 + \frac{0.4379}{(0.0819)(161.02)} = 0.1674$$

Tabla 21

Importancia Relativa de las Alternativas Qi.

Q_1	0,07303
Q_2	0,09672
Q_3	0,09201
Q_4	0,19941
Q_5	0,23619
Q_6	0,13525
Q_7	0,16740

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Se realiza la búsqueda del índice de rendimiento (P_i), por medio de la ecuación (9), considerando el valor máximo de la importancia relativa de las alternativas Q_i .

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (9)$$

Donde el valor de $Q_{max} = 0,23619$, con lo cual se tiene:

$$P_1 = \frac{Q_1}{0.23619} * 100 = \frac{0,07303}{0.23619} * 100 = 30,919$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{0.23619} * 100 = \frac{0,09672}{0.23619} * 100 = 40,95$$

$$P_3 = \frac{Q_3}{0.23619} * 100 = \frac{0,09201}{0.23619} * 100 = 38,956$$

$$P_4 = \frac{Q_4}{0.23619} * 100 = \frac{0,19941}{0.23619} * 100 = 84,426$$

$$P_5 = \frac{Q_5}{0.23619} * 100 = \frac{0,23619}{0.23619} * 100 = 100$$

$$P_6 = \frac{Q_6}{0.23619} * 100 = \frac{0,13525}{0.23619} * 100 = 57,2663$$

$$P_7 = \frac{Q_7}{0.23619} * 100 = \frac{0,16740}{0.23619} * 100 = 70,686$$

Tabla 22

Proximidad Relativa a la ideal (P_i) y Ranking (COPRAS).

Materiales	Índice de Rendimiento	Ranking
Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)	30,920	7
Fibra de Banano corta (Mercerización)	40,951	5
Fibra de Piña (Mercerización)	38,956	6
Fibra corta de Coco (Mercerización)	84,427	2
Fibra de Cabuya	100,000	1
Fibra de Bambú (Mercerización)	57,263	4
Tejido de Abacá Tipo satín	70,876	3

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

3.4.2. Método VIKOR.

En dicho método de selección multicriterio se realiza una selección apoyado en la definición de soluciones ideales positivas y negativas.

- Elaboración de la matriz de decisión inicial, misma que se elabora al definir los parámetros iniciales para la elaboración de métodos MCDM (Matriz de decisión estándar) Tabla 12.

$$M = \begin{bmatrix} 4.78 & 34.68 & 1930 & 1.86 & 2337.8 & 1.148 & 2 \\ 10 & 35.73 & 1304.84 & 50.56 & 3675.47 & 1.158 & 0.67 \\ 15 & 44.47 & 1524.23 & 74.96 & 2140 & 1.298 & 2 \\ 30 & 21.88 & 3118.5 & 1.321 & 3198.46 & 1.071 & 0.2 \\ 39 & 74.32 & 4025.6 & 61.78 & 253.48 & 1.056 & 0.25 \\ 10.11 & 34.32 & 7160 & 83.01 & 4160 & 1.128 & 2.5 \\ 20 & 27.5 & 10462 & 62.4 & 3976 & 1.173 & 3 \end{bmatrix}$$

- Elaboración de la matriz de decisión inicial normalizada (f_{ij}), por medio de la ecuación (10).

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

Con lo cual se tiene:

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0836 & 0,3115 & 0,1383 & 0,3793 & 0,2688 & 0,3651 & 0,4099 \\ 0,1748 & 0,321 & 0,0936 & 0,31 & 0,4227 & 0,3827 & 0,1373 \\ 0,2623 & 0,399 & 0,1093 & 0,4596 & 0,2461 & 0,4289 & 0,4099 \\ 0,5245 & 0,1966 & 0,2236 & 0,0081 & 0,3678 & 0,3539 & 0,0419 \\ 0,6819 & 0,6676 & 0,2887 & 0,3788 & 0,3396 & 0,349 & 0,0512 \\ 0,1768 & 0,3083 & 0,5135 & 0,5089 & 0,4784 & 0,3728 & 0,5124 \\ 0,3497 & 0,247 & 0,7404 & 0,3826 & 0,4572 & 0,3876 & 0,6149 \end{bmatrix}$$

Tabla 23

Matriz de Decisión Normalizada (VIKOR).

Material	A	B	C	D	E	F	G
1	0,0836	0,3115	0,1384	0,3793	0,2688	0,3651	0,4099
2	0,1748	0,3210	0,0936	0,3100	0,4227	0,3827	0,1373

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

3	0,2623	0,3995	0,1093	0,4596	0,2461	0,4289	0,4099
4	0,5245	0,1965	0,2236	0,0081	0,3678	0,3539	0,0410
5	0,6819	0,6676	0,2887	0,3788	0,3396	0,3490	0,0512
6	0,1768	0,3083	0,5135	0,5089	0,4784	0,3728	0,5124
7	0,3497	0,2470	0,7504	0,3826	0,4572	0,3876	0,6149

- Definición del peor valor (f_i^-) de todas las funciones de criterios de las alternativas y del mejor valor (f_i^*), por medio de las ecuaciones (11) y (12):

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Considerando el criterio de carácter positivo y negativo de cada criterio en donde la mejor opción para un criterio de carácter negativo será el menor valor y la peor solución será el valor máximo teniendo así:

Tabla 24

Mejor valor de (f_i^*).

A	B	C	D	E	F	G
0,6819	0,6676	0,7504	0,5089	0,4784	0,349	0,041

Tabla 25

Peor valor de (f_i^-).

A	B	C	D	E	F	G
0,0836	0,1965	0,0936	0,0081	0,2461	0,4289	0,6149

- Cálculo de las distancias ideales positivas (S_i), junto con las distancias a cada valor de la solución ideal negativa (R_i), por medio de las ecuaciones (13) y (14):

$$S_i = \sum_j^n W_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (13)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 26

Valores de (S_i).

0,18975	0,05696	0,24458	0,06796	0,02456	0,00052	0,18558
0,16080	0,05545	0,26250	0,10428	0,00653	0,00108	0,04846
0,13308	0,04289	0,25621	0,02587	0,02722	0,00256	0,18558
0,04990	0,07535	0,21052	0,26250	0,01296	0,00016	0,00000
0,00000	0,00000	0,18451	0,06822	0,01626	0,00000	0,00515
0,16019	0,05748	0,09466	0,00000	0,00000	0,00076	0,23713
0,10535	0,06728	0,00000	0,06623	0,00248	0,00124	0,28868

Tabla 27

Solución Ideal Positiva (S_i).

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
S_i	0,76990	0,63909	0,67341	0,61140	0,27414	0,55021	0,53125

Tabla 28

Valores Máximo y Mínimos de (S_i).

	S_{max}	S_{min}
S_i	0,7699	0,27414

Se efectúa el cálculo de la solución ideal negativa (R_i), por medio de la ecuación (14).

$$R_i = \text{Max}_j [W_i f_i^* - f_{ij}] / (f_i^* - f_i^-) \quad (14)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 29

Máximo (R_i).

	$R_{1 \max}$	$R_{2 \max}$	$R_{3 \max}$	$R_{4 \max}$	$R_{5 \max}$	$R_{6 \max}$	$R_{7 \max}$	R_{\max}
R_i	0,24458	0,26250	0,25621	0,2625	0,1845	0,23713	0,28868	0,28868

Tabla 30

Mínimo (R_i).

	$R_{1 \min}$	$R_{2 \min}$	$R_{3 \min}$	$R_{4 \min}$	$R_{5 \min}$	$R_{6 \min}$	$R_{7 \min}$	R_{\min}
R_i	0,00052	0,00108	0,00256	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

- Solución de valores (I_i), mediante la ecuación (15), considerando que los valores más elevados de (I_i), determinan a la mejor alternativa.

$$I_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (15)$$

Donde se tiene:

- $S^* = \text{Min } S_i$
- $S^- = \text{Max } S_i$
- $R^* = \text{Min } R_i$
- $R^- = \text{Max } R_i$

Teniendo que el parámetro V es una referencia de ponderación con un valor de ($v \geq 0.5$), con lo cual se tiene para la presente investigación un valor de $V= 0,5$ considerando voto por mayoría siendo así:

Tabla 31

Solución de Valores (I_i).

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

0,7619	0,9236	0,8227	0,7948	0,3196	0,6891	0,7593
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Para la selección de la mejor opción se toma el valor con menor ponderación de I, con lo cual se tiene:

Tabla 32

Ranking de Ponderación de los materiales (VIKOR) – (Ii).

Materiales	Valor I	Ranking
Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)	0,9236	7
Fibra de Banano corta (Mercerización)	0,8227	5
Fibra de Piña (Mercerización)	0,8465	6
Fibra corta de Coco (Mercerización)	0,7948	4
Fibra de Cabuya	0,3196	1
Fibra de Bambú (Mercerización)	0,6891	2
Tejido de Abacá Tipo satín	0,7593	3

3.4.3. Método TOPSIS.

Orientado a la selección por medio de la consideración ideal más próxima a una opción ideal, por medio de la selección más cercana al resultado positivo de la valoración por medio de valores ideales y anti-ideales.

- Desarrollo de la matriz de decisión inicial, misma que se elabora al definir los parámetros iniciales para la elaboración de métodos MCDM (Matriz de decisión estándar) Tabla 12.

$$M = \begin{bmatrix} 4.78 & 34.68 & 1930 & 1.86 & 2337.8 & 1.148 & 2 \\ 10 & 35.73 & 1304.84 & 50.56 & 3675.47 & 1.158 & 0.67 \\ 15 & 44.47 & 1524.23 & 74.96 & 2140 & 1.298 & 2 \\ 30 & 21.88 & 3118.5 & 1.321 & 3198.46 & 1.071 & 0.2 \\ 39 & 74.32 & 4025.6 & 61.78 & 253.48 & 1.056 & 0.25 \\ 10.11 & 34.32 & 7160 & 83.01 & 4160 & 1.128 & 2.5 \\ 20 & 27.5 & 10462 & 62.4 & 3976 & 1.173 & 3 \end{bmatrix}$$

Tabla 33

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Matriz de decisión Inicial con Pesos de Criterios W_i .

Materiales	A	B	C	D	E	F	G
Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)	4,78	34,68	1930	61,86	2337,8	1,1048	2
Fibra de Banano corta (Mercerización)	10	35,73	1304,84	50,56	3675,47	1,158	0,67
Fibra de Piña (Mercerización)	15	44,47	1524,23	74,96	2140	1,298	2
Fibra corta de Coco (Mercerización)	30	21,88	3118,05	1,321	3198,46	1,071	0,2
Fibra de Cabuya	39	74,32	4025,6	61,78	2953,48	1,056	0,25
Fibra de Bambú (Mercerización)	10,11	34,32	7160	83,01	4160	1,128	2,5
Tejido de Abacá Tipo satín	20	27,5	10462	62,4	3976	1,173	3
Pesos de Criterios W_i	0,189	0,0753	0,263	0,154	0,0272	0,00256	0,2887

- Generación de la matriz de decisión Normalizada, se toma la matriz (f_{ij}) , del método

VIKOR Tabla 23, teniendo así:

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0836 & 0,3115 & 0,1383 & 0,3793 & 0,2688 & 0,3651 & 0,4099 \\ 0,1748 & 0,321 & 0,0936 & 0,31 & 0,4227 & 0,3827 & 0,1373 \\ 0,2623 & 0,399 & 0,1093 & 0,4596 & 0,2461 & 0,4289 & 0,4099 \\ 0,5245 & 0,1966 & 0,2236 & 0,0081 & 0,3678 & 0,3539 & 0,0419 \\ 0,6819 & 0,6676 & 0,2887 & 0,3788 & 0,3396 & 0,349 & 0,0512 \\ 0,1768 & 0,3083 & 0,5135 & 0,5089 & 0,4784 & 0,3728 & 0,5124 \\ 0,3497 & 0,247 & 0,7404 & 0,3826 & 0,4572 & 0,3876 & 0,6149 \end{bmatrix}$$

- Elaboración de la Matriz de decisión Normalizada Ponderada, la cual es el resultado del producto del peso de criterio elaborado en el método de ENTROPIA por cada elemento de la matriz de decisión Normalizada (f_{ij}) , teniendo así:

Tabla 34

Tabla de decisión normalizada ponderada.

Material	A	B	C	D	E	F	G
1	0,0159	0,0235	0,0363	0,0584	0,0073	0,0009	0,1183
2	0,0332	0,0242	0,0246	0,0477	0,0115	0,0010	0,0396
3	0,0498	0,0301	0,0287	0,0707	0,0067	0,0011	0,1183
4	0,0995	0,0148	0,0587	0,0012	0,0100	0,0009	0,0118
5	0,1294	0,0503	0,0758	0,0583	0,0092	0,0009	0,0148
6	0,0335	0,0232	0,1348	0,0783	0,0130	0,0010	0,1479

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

7 | 0,0664 0,0186 0,1970 0,0589 0,0124 0,0010 0,1775

- Determinación de las alternativas ideales positivas y las alternativas ideales negativas (anti - ideal), por medio de la ecuación (16):

$$A^* = \{(max_i V_{ij} | j \in J), (min_i V_{ij} | j \in J) = (V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*)\} \quad (16)$$

Determinado así por medio del carácter del criterio si el mismo es positivo se toma una alternativa ideal positiva al máximo valor y si el criterio es negativo se toma como solución ideal positiva al mínimo valor, y de carácter contrario cuando se considera un criterio con respecto a la alternativa anti-ideal.

Tabla 35

Determinación alternativas ideales positivas y alternativas ideales negativas.

Alternativas	A (+)	B (+)	C (+)	D (+)	E (+)	F (-)	G (-)
<i>Alternativa Ideal</i>	0,1294	0,0503	0,1970	0,0783	0,0130	0,0009	0,0118
<i>Alternativa Anti - Ideal</i>	0,0159	0,0148	0,0246	0,0012	0,0067	0,0011	0,1775

- Cálculo de las medidas de distancias promedio de las alternativas, por medio de las ecuaciones (17) y (18), siendo así:

Separación Positiva

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_i^+)^2} \quad (17)$$

Separación Negativa

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_i^-)^2} \quad (18)$$

Con lo cual se tiene:

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Tabla 36

Distancia alternativa ideal positiva y distancia alternativa ideal negativa.

Distancia Alternativa Ideal	Distancia Alternativa Anti-Ideal
0,2262	0,0835
0,2034	0,1469
0,2157	0,0987
0,1650	0,1888
0,1229	0,2157
0,1797	0,1393
0,1811	0,1888

- Se efectúa el cálculo de la proximidad relativa a la alternativa, por medio de la ecuación (19) :

$$R_{si} = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (19)$$

Con lo cual se tiene:

Tabla 37

Proximidad Relativa a la Alternativa.

Distancia Alternativa Ideal	Distancia Alternativa Anti - Ideal	R_{si}
0,2262	0,0835	0,26968
0,2034	0,1469	0,41933
0,2157	0,0987	0,31387
0,1650	0,1888	0,53358
0,1229	0,2157	0,63697
0,1797	0,1393	0,43657
0,1811	0,1888	0,51037

- Se efectúa la ponderación de criterios en desde el mayor a menor valor de la proximidad relativa a la alternativa siendo :

Tabla 38

Ponderación de selección (TOPSIS).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Materiales	Proximidad Relativa	Ranking
<i>Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)</i>	0,270	7
<i>Fibra de Banano corta (Mercerización)</i>	0,419	5
<i>Fibra de Piña (Mercerización)</i>	0,314	6
Fibra corta de Coco (Mercerización)	0,534	2
Fibra de Cabuya	0,637	1
<i>Fibra de Bambú (Mercerización)</i>	0,437	4
Tejido de Abacá Tipo satín	0,510	3

3.5. Resultados en la Selección Multicriterio.

En la Tabla 39, se presenta el resumen en la selección del mejor material compuesto según los métodos MCDM seleccionados como (COPRAS, VIKOR, TOPSIS), en donde se tiene un ranking de ponderación junto con los índices correspondientes de selección de cada uno de los métodos multicriterios, en donde se tiene que para los tres métodos MCDM el mejor candidato para la aplicación seleccionada es el *Material Compuesto de Fibra de Cabuya* posicionándose en el Ranking 1 para cada uno de los métodos multicriterios seleccionados en la presente investigación.

Tabla 39

Resumen de Resultados de Selección MCDM.

MATERIAL	COPRAS		VIKOR		TOPSIS	
	Índice de Rendimiento	Ranking	Valor I	Ranking	Proximidad Relativa	Ranking
<i>Tejido de Yute tipo plano (Pre-Carga 15%)</i>	30,92	7	0,9236	7	0,27	7
<i>Fibra de Banano corta (Mercerización)</i>	40,951	5	0,8227	5	0,419	5
<i>Fibra de Piña (Mercerización)</i>	38,956	6	0,8465	6	0,314	6
<i>Fibra corta de Coco (Mercerización)</i>	84,427	2	0,7948	4	0,534	2
<i>Fibra de Cabuya</i>	100	1	0,3196	1	0,637	1
<i>Fibra de Bambú (Mercerización)</i>	57,263	4	0,6891	2	0,437	4

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

<i>Tejido de Abacá Tipo satín</i>	<i>70,876</i>	<i>3</i>	<i>0,7593</i>	<i>3</i>	<i>0,51</i>	<i>3</i>
-----------------------------------	---------------	----------	---------------	----------	-------------	----------

3.6. Simulación Estática.

Una vez obtenido el mejor material con métodos MCDM (Compuesto con Fibra de Cabuya), se procede a la elaboración del panel de la compuerta en CAD utilizando Solid Works, descrito en el apartado de metodología, como parámetros iniciales para la elaboración de la simulación estática se siguen los pasos descritos en el apartado 2.9.4 (*Simulación Estática*), en el cual se establece criterios para la elaboración del mallado y las condiciones de frontera como cargas y restricciones que se toman en consideración para su simulado en Solid Works y Altaír Inspire, con la finalidad de poder analizar resultados como:

- Deformación
- Esfuerzos de Von Mises

3.6.1. Análisis de Deformación Solid Works.

Con el tipo de mallado descrito en la Figura 28 y las respectivas condiciones de frontera se procede al análisis de deformación del elemento al ser sometido a cargas estáticas Tabla 10, considerando a la compuerta con material de Fibra de Cabuya y material original de la compuerta de un auto teniendo así:

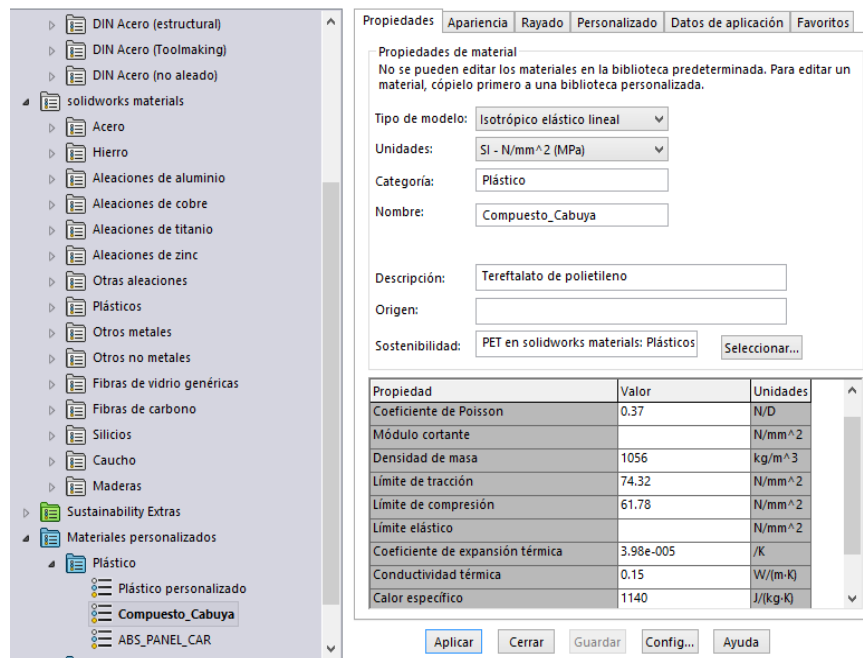
- a) Material de Fibra de Cabuya

Como parámetro inicial previo a la simulación se coloca los parámetros del material dentro de la librería de Solid Works, basado en las propiedades del compuesto que se detallan en el estudio de (Tamayo, 2012).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 34.

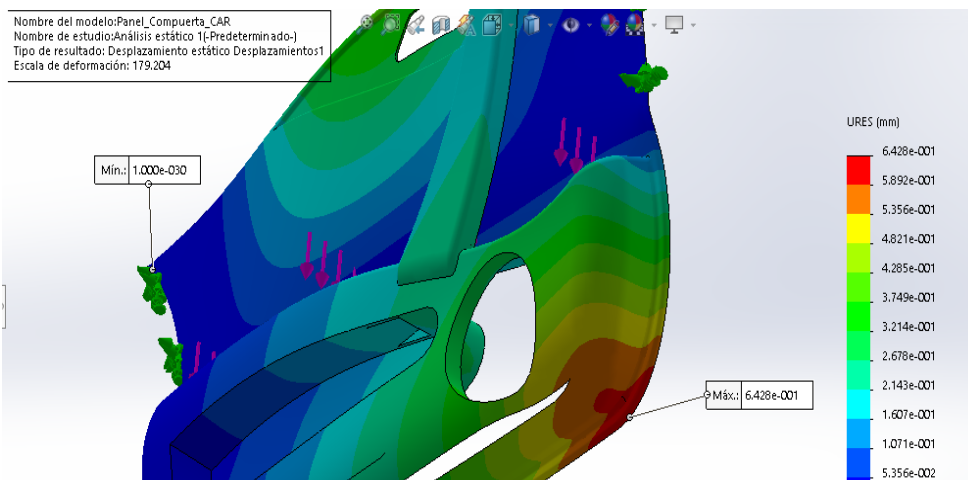
Propiedades del compuesto de fibra de Cabuya en la librería de Solid Works



- Botonera/Asidero (Deformación Máxima = 0,64 mm)

Figura 35.

Simulación de deformación Máxima (Botonera / Asidero) Solid Works (Fibra de Cabuya).



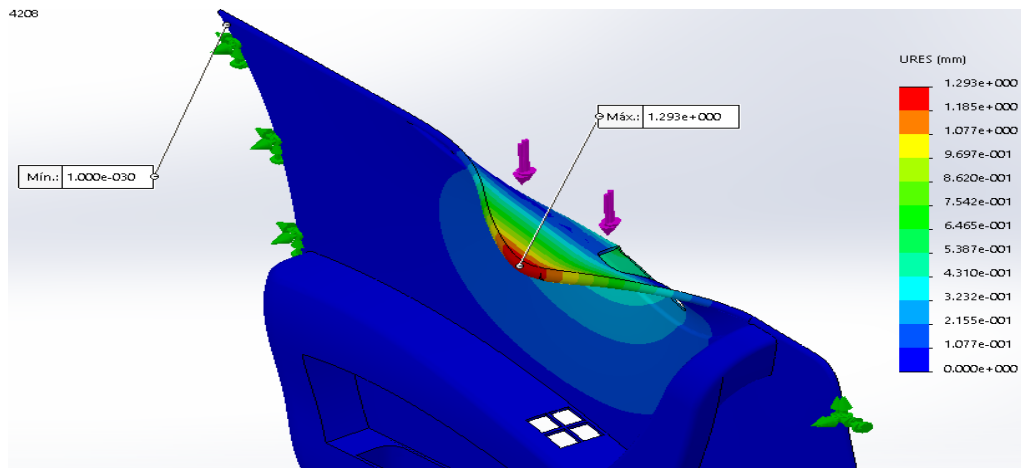
Nota. Deformación Máxima igual a 0,64 mm generada en la parte inferior del panel de la compuerta del auto de Fibra de Cabuya al someterse a una carga de 500 N en la botonera/asidero.

- Cintura (Deformación Máxima= 1,29 mm)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 36.

Deformación Máxima en Cintura Solid Works (Fibra de Cabuya).

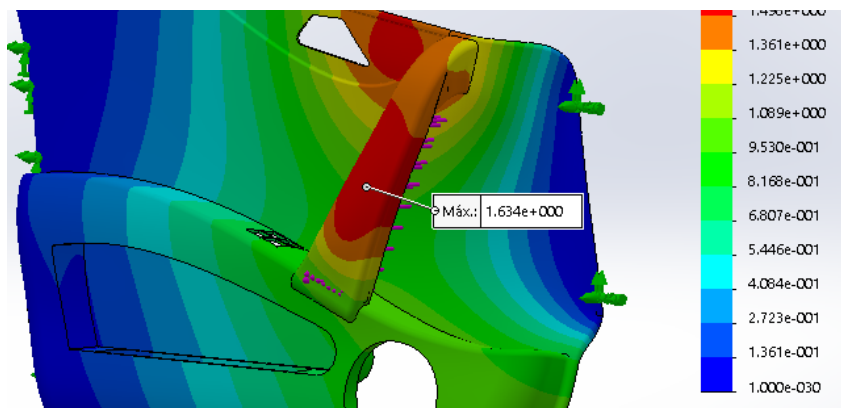


Nota. Deformación Máxima de 1,29 mm en la zona de acción de carga (Cintura) al ser sometida a una carga estática de 300 N para un material de compuerta de Fibra de Cabuya.

- Cierre de puerta (**Deformación Máxima= 1,634 mm**)

Figura 37.

Deformación Máxima (Cierre Puerta) Solid Works (Fibra de Cabuya).



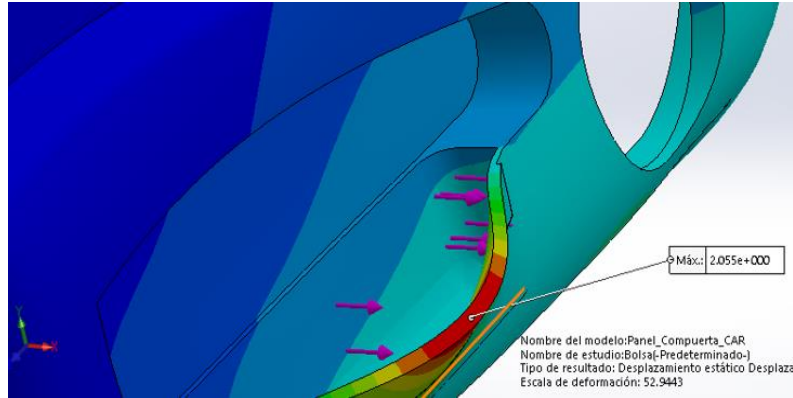
Nota. Deformación máxima ubicada en soporte para abrir o cerrar la puerta del vehículo con un valor máximo de 1,634 mm, al ser sometido a una carga estática de 500 N en dicha zona para un panel de compuerta de Fibra de Cabuya.

- Bolsa del Panel de la compuerta (**Deformación Máxima= 2,05 mm**)

Figura 38.

Deformación Máxima en Bolsa Solid Works (Fibra de Cabuya).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



Nota. Deformación máxima de 2,05 mm en la parte de la bolsa del panel al ser sometido a una carga máxima de 200 N en dicha zona para un panel de compuerta de Fibra de Cabuya.

b) Material ABS

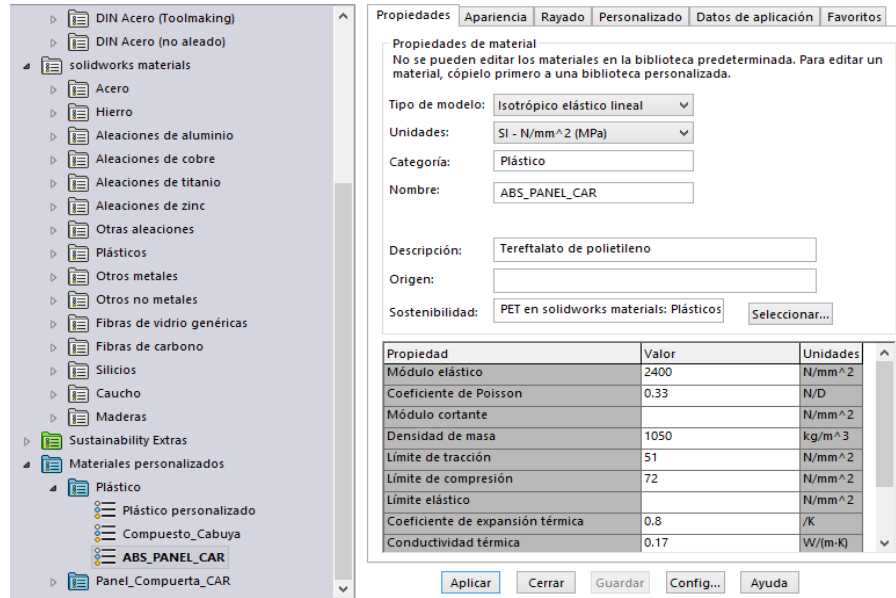
El material Acrilonitrilo Butadieno Estireno también conocido como ABS es uno de los materiales más utilizados en autopartes internas del vehículo (Obis, 2015), esto debido a sus buenas propiedades mecánicas como excelente estabilidad dimensional, buena resistencia a rayos UV y baja densidad, con lo cual es muy utilizado para partes como asideros, apoyabrazos, tableros de control, cajetines, rejillas de ventilación, protectores de airbag, etc. Siendo así un material termoplástico muy utilizado en el campo automotor para interiores (Pasantez, 2019).

Motivo por el cual se lo utilizará para poderlo comparar con el material compuesto seleccionado con criterios de MCD debido a su versatilidad y gran uso en el campo automotor de interiores, con lo cual sus propiedades mecánicas fueron obtenidas directamente de su ficha técnica (Hh, 2005) colocando así los parámetros del material dentro de la librería de Solid Works.

Figura 39.

Propiedades del Material ABS en la librería de Solid Works

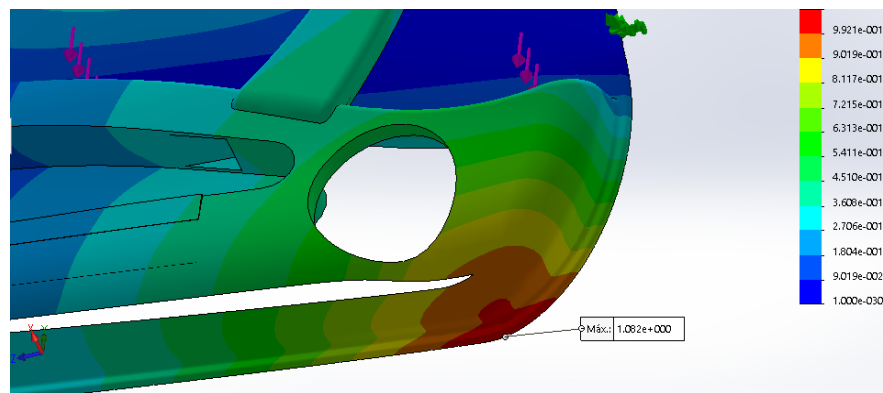
SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



- Botonera/Asidero (Deformación Máxima= 1,082 mm)

Figura 40.

Simulación deformación Máxima (Botonera/Asidero) Solid Works (ABS).



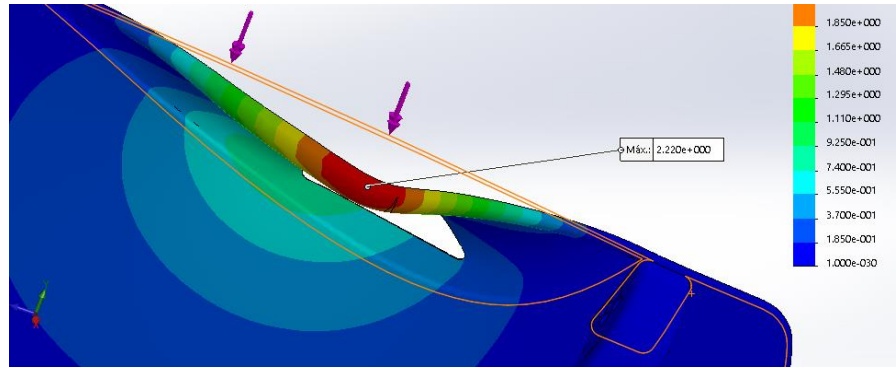
Nota. Deformación Máxima igual a 1,082 mm generada en la parte inferior del panel de la compuerta del auto al someterse a una carga de 500 N en la botonera/asidero para un panel de compuerta de ABS.

- Cintura (Deformación Máxima= 2,2 mm)

Figura 41 .

Simulación deformación Máxima en Cintura Solid Works (ABS).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

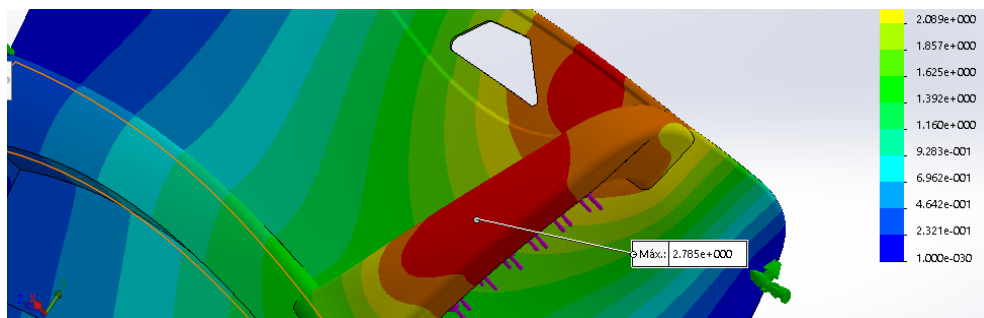


Nota. Deformación Máxima de 2,2 mm en la zona de acción de carga (Cintura) al ser sometida a una carga estática de 300 N para un material de compuerta de ABS.

- Cierre de puerta (**Deformación Máxima= 2,78 mm**)

Figura 42.

Simulación deformación Máxima Cierre Puerta Solid Works (ABS).



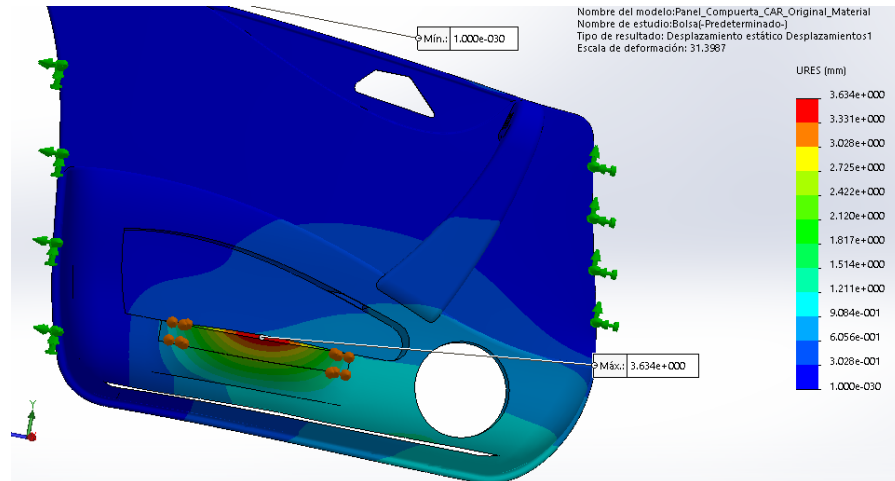
Nota. Deformación máxima ubicada en soporte para abrir o cerrar la puerta del vehículo con un valor máximo de 2,78 mm, al ser sometido a una carga estática de 500 N en dicha zona para un panel de compuerta de ABS.

- Bolsa del Panel de la compuerta (**Deformación Máxima= 2,64 mm**)

Figura 43.

Simulación deformación Máxima en Bolsa Solid Works (ABS).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



Nota. Deformación máxima de 2,64 mm en la parte de la bolsa del panel al ser sometido a una carga máxima de 200 N en dicha zona para un panel de compuerta de ABS.

3.6.2. Análisis de Deformación Altair Inspire.

El tamaño de malla y condiciones de frontera que se utilizan están descritos en el apartado 2.9.4.2 Análisis estático en Altair Inspire, con lo cual se elabora el análisis en los mismos casos de estudio que en Solid Works y de la misma forma con el material de fibra de Cabuya y el material original ABS. Al igual que en Solid Works se introduce el valor de las propiedades de cada uno de los materiales para su respectivo análisis en la biblioteca del software.

Figura 44.

Parámetros de la Fibra de Cabuya y Material ABS en la biblioteca de Inspire.

Material	E	Nu	Densidad	Esfuerzo de cedencia	ente de dilatación t
Compuesto_Cabuya	4.025E+3 MPa	0.370	1.056E-6 kg/mm ³	74.320E+00 MPa	39.800E-06 /K
ABS_Panel_Puerta	2.400E+3 MPa	0.330	1.050E-6 kg/mm ³	51.000E+00 MPa	17.300E-06 /K

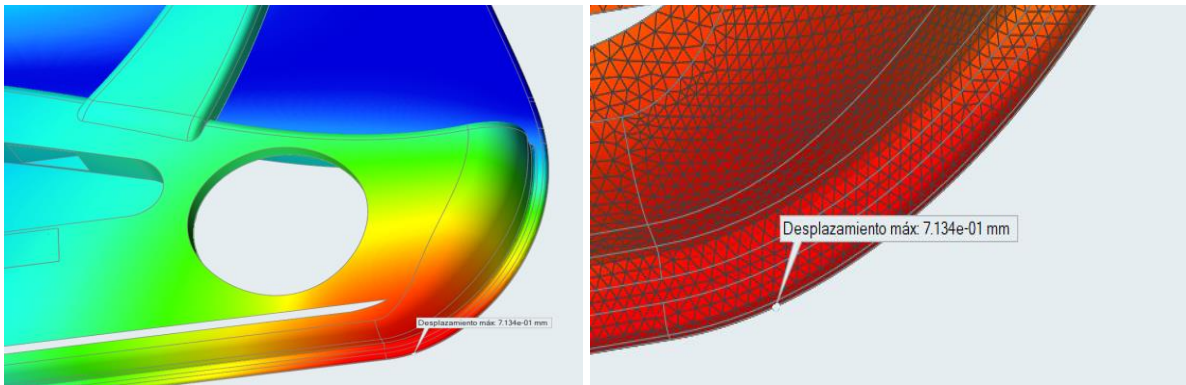
a) Material de Fibra de Cabuya

- Botonera/Asidero (**Deformación Máxima = 0,7 mm**)

Figura 45.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Simulación deformación Máxima (Botonera / Asidero) Altair Inspire (Fibra de Cabuya).

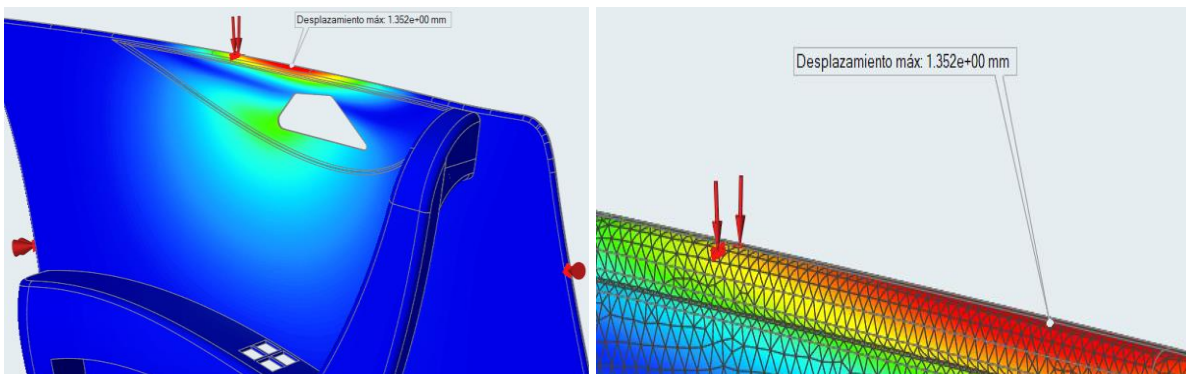


Nota. Deformación Máxima igual a 0,7 mm generada en la parte inferior del panel de la compuerta del auto al someterse a una carga de 500 N en la botonera/asidero para un panel de compuerta de Fibra de Cabuya.

- Cintura (**Deformación Máxima= 1,3 mm**)

Figura 46.

Simulación deformación Máxima Cintura Altair Inspire (Fibra de Cabuya).



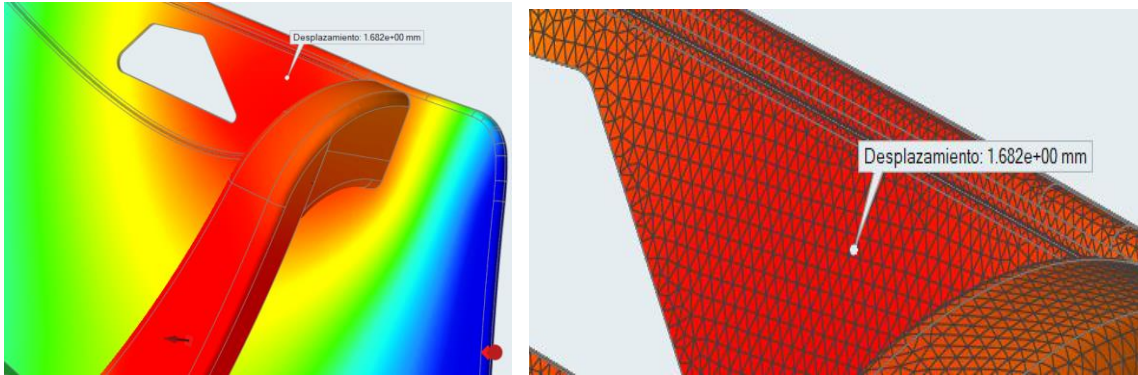
Nota. Deformación Máxima de 1,3 mm en la zona de acción de carga (Cintura) al ser sometida a una carga estática de 300 N para un material de compuerta de Fibra de Cabuya.

- Cierre de puerta (**Deformación Máxima= 1,68 mm**)

Figura 47.

Simulación deformación Máxima Cierre puerta Altair Inspire (Fibra de Cabuya).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

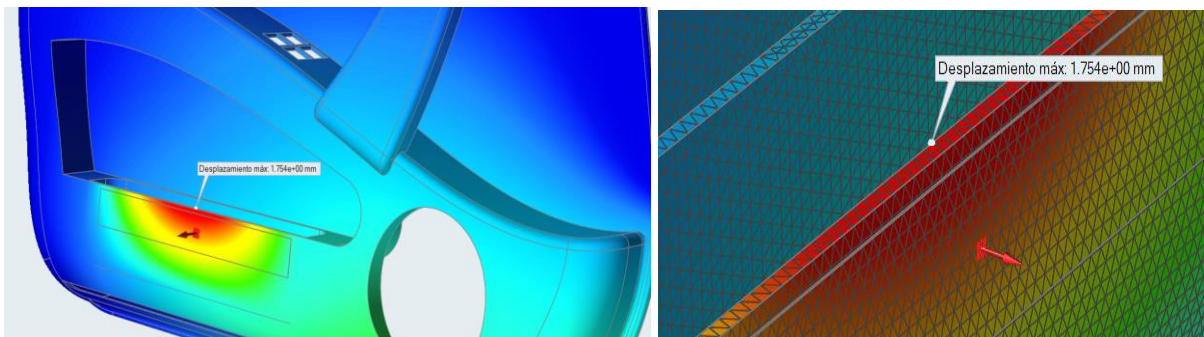


Nota. Deformación máxima en zona alta de soporte de compuerta con un valor máximo de 1,68 mm, al ser sometido a una carga estática de 500 N en soporte de abrir o cerrar puerta para un panel de compuerta de Fibra de Cabuya.

- Bolsa del Panel de la compuerta (**Deformación Máxima= 1,75 mm**)

Figura 48.

Simulación deformación Máxima de Bolsa Altaír Inspire (Fibra de Cabuya).



Nota. Deformación máxima de 1,75 mm en la parte de la bolsa del panel al ser sometido a una carga máxima de 200 N en dicha zona para un panel de compuerta de Fibra de Cabuya.

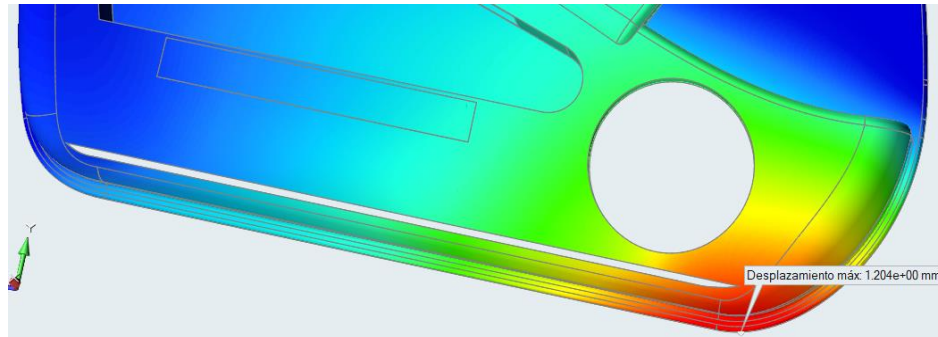
- b) Material ABS

- Botonera/Asidero (**Deformación Máxima = 1,2 mm**)

Figura 49.

Simulación deformación Máxima (Botonera/ Asidero) Altaír Inspire (ABS).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

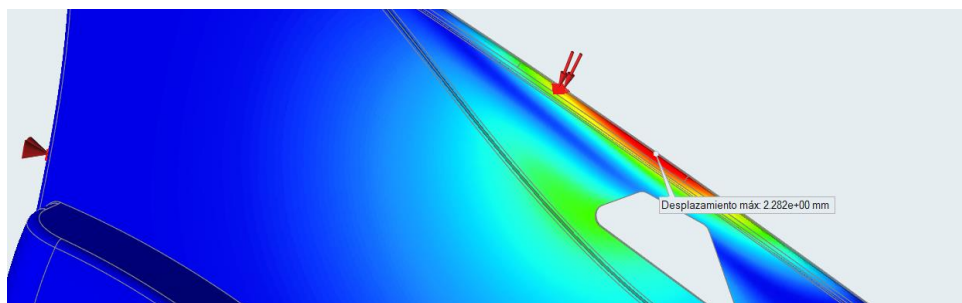


Nota. Deformación Máxima igual a 1,2 mm generada en la parte inferior del panel de la compuerta del auto al someterse a una carga de 500 N en la botonera/asidero para un panel de compuerta de ABS.

- Cintura (**Deformación Máxima= 2,28 mm**)

Figura 50.

Simulación deformación Máxima Cintura Altaír Inspire (ABS).



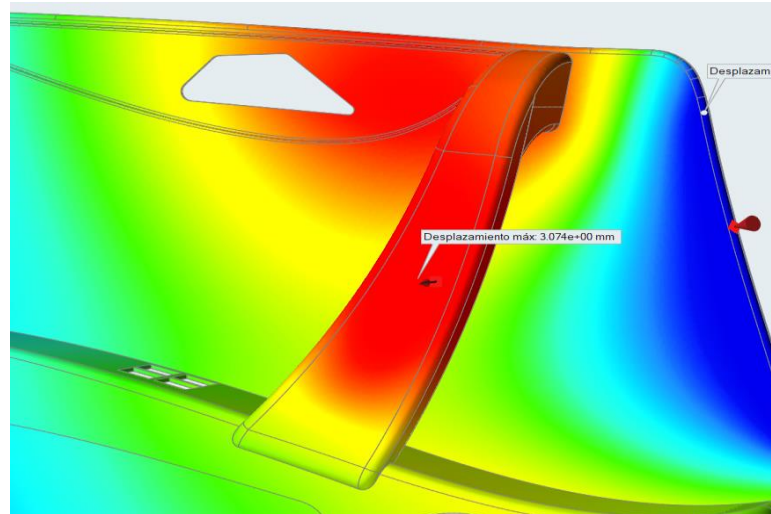
Nota. Deformación Máxima de 2,28 mm en la zona de acción de carga (Cintura) al ser sometida a una carga estática de 300 N para un material de compuerta de ABS.

- Cierre de puerta (**Deformación Máxima= 3 mm**)

Figura 51.

Simulación deformación Máxima Cierre Puerta Altaír Inspire (ABS).

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

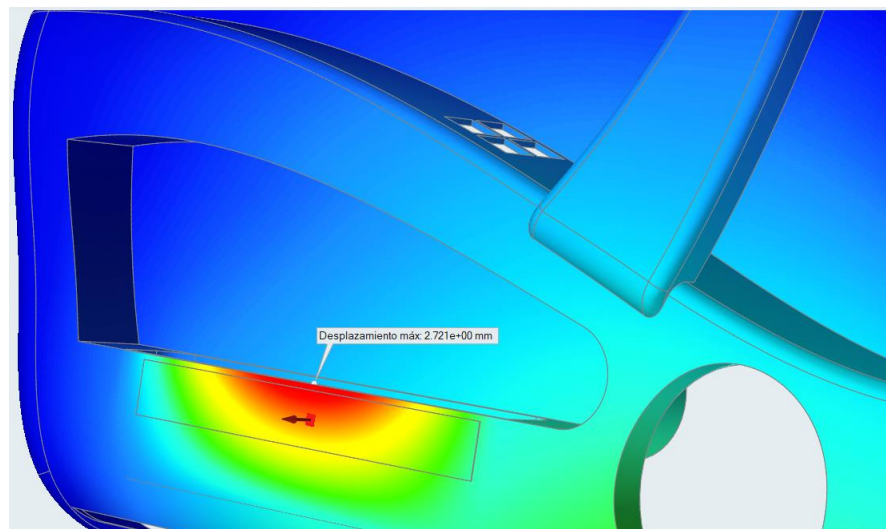


Nota. Deformación máxima en zona soporte de compuerta con un valor máximo de 3 mm, al ser sometido a una carga estática de 500 N en soporte de abrir o cerrar puerta para un panel de compuerta de ABS.

- Bolsa del Panel de la compuerta (**Deformación Máxima= 2,72 mm**)

Figura 52.

Simulación deformación Máxima de Bolsa Altaír Inspire (ABS).



Nota. Deformación máxima de 2,72 mm en la parte de la bolsa del panel al ser sometido a una carga máxima de 200 N en dicha zona para un panel de compuerta de ABS.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

3.6.3. *Análisis de Von Mises Solid Works (Fibra de Cabuya).*

Para la elaboración de dicho análisis en Solid Works se debe tener un refinamiento de malla en las zonas de acción de los esfuerzos, esto dado en estudios como (Leguisamo, 2019) en el cual se realiza un análisis topológico por medio de Elementos Finitos del chasis de una motocicleta de competencia, en donde el autor previo al análisis topológico analiza el comportamiento bajo cargas estáticas del chasis de una motocicleta modelo Honda “CRF 230”, por medio del Software Solid Works analizando deformaciones permisibles y esfuerzos de Von Mises en el componente, para lo cual utiliza un criterio de mallado fino en las zonas de interés del bastidor, garantizando así la obtención de datos lo suficientemente precisos para su análisis posterior.

De igual manera en estudios como (Castellanos, 2018) en donde se realiza un análisis estático de los elementos de suspensión de un monoplaza tipo fórmula eléctrico se realiza un refinamiento de malla en los balancines y tijeras de suspensión que es el lugar donde actúa la carga con la finalidad de tener resultados mucho más precisos y reducir el porcentaje de error de simulación del software. Por tal motivo en base a revisión bibliográfica y también por recomendaciones del manual para guía de usuario de Solid Works (SolidWorks.Corps, 2019) respecto a un refinamiento de malla en las zonas de interés de acción del esfuerzo se realiza una convergencia de resultados con respecto a los valores de Esfuerzos de Von Mises que son los que dependen directamente del tipo de malla en comparación con el análisis de desplazamiento, realizando así una convergencia de resultados con la finalidad de tener valores de Von Mises constantes y determinar las características de mallado idóneo en la simulación con la finalidad de reducir el porcentaje de error que puede arrojar el solver.

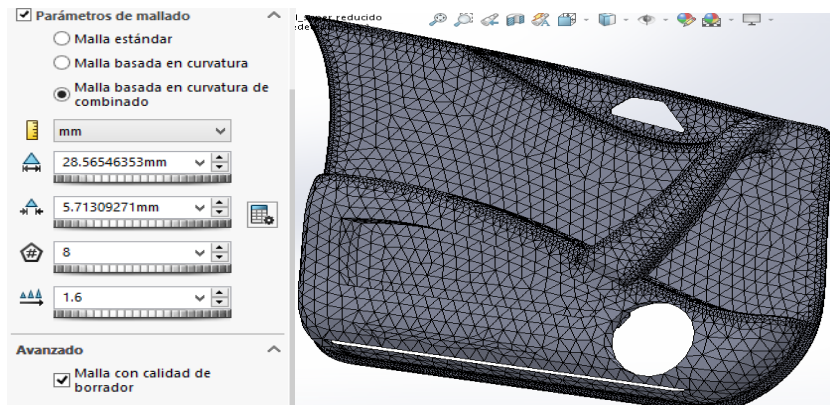
- Botonera / Asidero

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Con la finalidad de conocer las zonas de acción de los esfuerzos máximos de Von Mises para dicho caso de carga se realiza una simulación rápida con un análisis de malla avanzado en calidad de tipo borrador, lo cual me indica un mallado sin nodos centrales para una evaluación rápida (SolidWorks.Corps, 2019).

Figura 53.

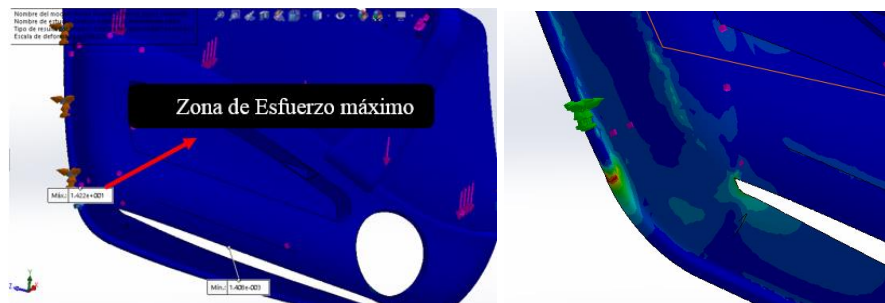
Mallado con calidad de borrador.



Con dicho análisis de mallado se manda a correr la simulación y se visualiza la ubicación de las zonas de esfuerzo máximo de Von Mises para dicho caso de estudio.

Figura 54.

Ubicación de la Zona de Esfuerzo Máximo.



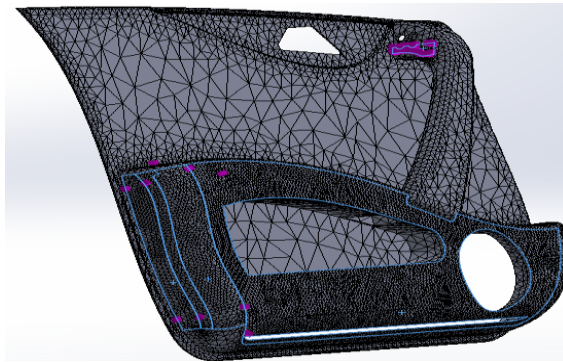
Una vez identificada la zona en donde se genera la mayor concentración de esfuerzos de Von Mises para dicho caso de estudio se procede al refinamiento del mallado, con lo cual se utiliza un mallado preliminar Figura 28, con un tamaño de malla de 40 mm con un tamaño mínimo del

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

elemento de malla sólida de 8 mm y un refinado inicial de mallado de 7 mm en las zonas donde se tiene una mayor relación de aspecto con la finalidad de mejorar la calidad de la malla.

Figura 55.

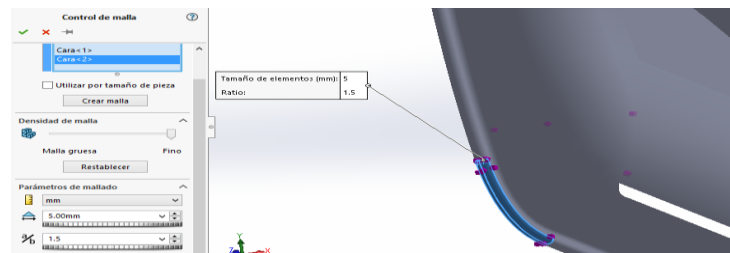
Condiciones Iniciales de Mallado.



Para el refinado de malla en las zonas de acción del esfuerzo máximo de Von Mises se utiliza un control de malla en las zonas donde se tiene la zona de acción del esfuerzo máximo visualizado en la Figura 56.

Figura 56.

Control de Malla en la Zona de Acción del Esfuerzo Máximo de Von Mises.



En base a las condiciones iniciales de mallado Figura 53.

Mallado con calidad de borrador. Se varía el tamaño de control de malla en la zona de acción del esfuerzo máximo, utilizando para ello valores menores al refinamiento inicial de mallado y se genera la simulación con la finalidad de observar en que tamaño de malla se tiene una convergencia de resultados.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Con la finalidad de disminuir así el coeficiente de variación de los mismos se realiza varias simulaciones con varios tamaños de refinamiento de malla hasta obtener un valor constante de Esfuerzo de Von Mises.

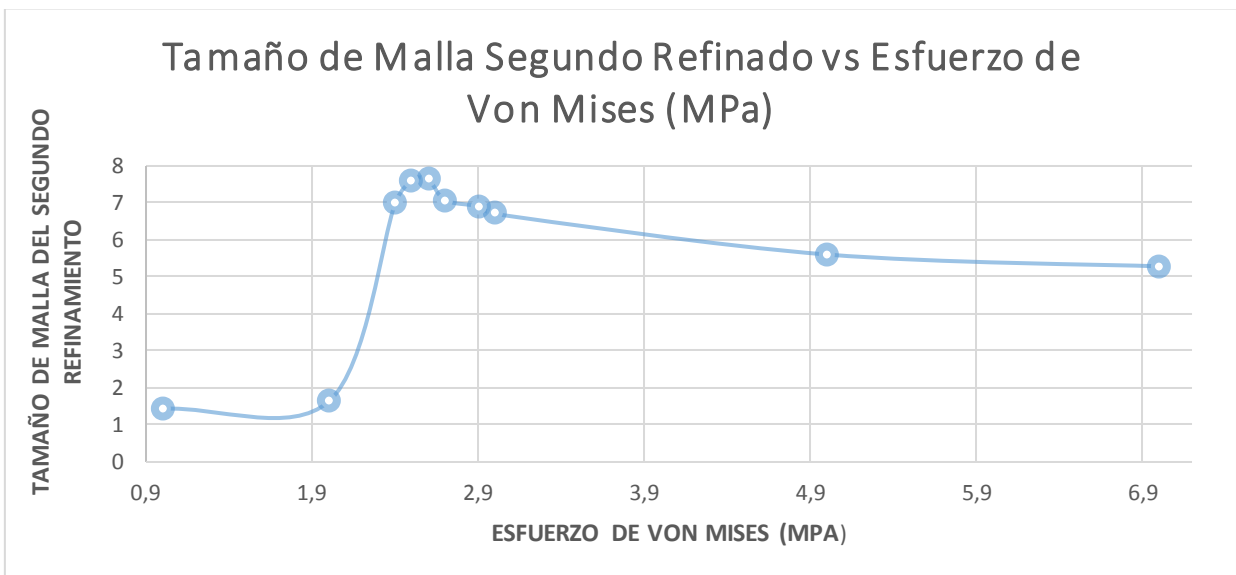
Tabla 40

Resumen de Resultados variando el tamaño de malla del Segundo Refinamiento.

Tamaño de Malla (mm)	Tamaño de Malla del Primer Refinamiento (mm)	Tamaño de Malla del Segundo Refinamiento en Zonas de Interés de Acción de Esfuerzo Máximo (mm)	Tipo de Mallado	Esfuerzo de Von Mises (MPa)
40	7	7	Basado en Curvatura	5,28
40	7	5	Basado en Curvatura	5,6
40	7	3	Basado en Curvatura	6,7
40	7	2,9	Basado en Curvatura	6,91
40	7	2,7	Basado en Curvatura	7,072
40	7	2,6	Basado en Curvatura	7,623
40	7	2,5	Basado en Curvatura	7,62
40	7	2,4	Basado en Curvatura	7,004
40	7	2	Basado en Curvatura	1,62
40	7	1	Basado en Curvatura	1,42

Figura 57.

Convergencia de Resultados con Tamaño de malla de 2,5 mm



SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Con lo cual se puede visualizar que con un tamaño de malla de refinamiento de 2,5 mm en la zona donde se generan la mayor concentración de esfuerzos de Von Mises para el caso de carga de botonera y asidero se tiene un menor coeficiente de variabilidad, con lo cual se toma dichos parámetros de configuración de malla para el análisis de los demás casos de carga en el análisis de Von Mises con Solid Works, considerando que el segundo refinamiento se lo aplica en la zona de acción del máximo esfuerzo dependiendo el caso de carga que se esté analizando.

Figura 58.

Segundo Control de Malla con un tamaño de 2,5.

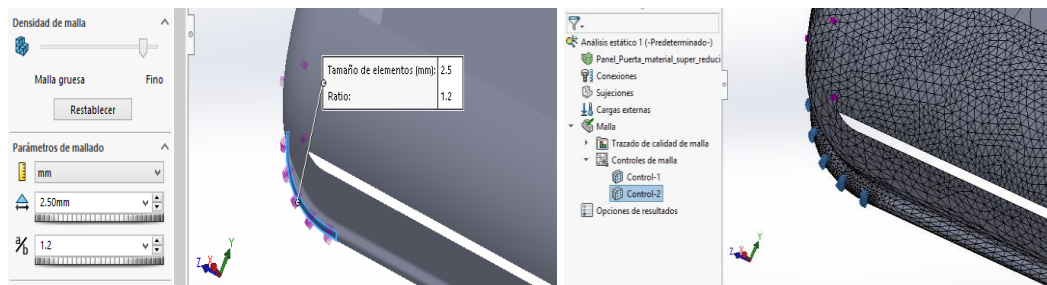
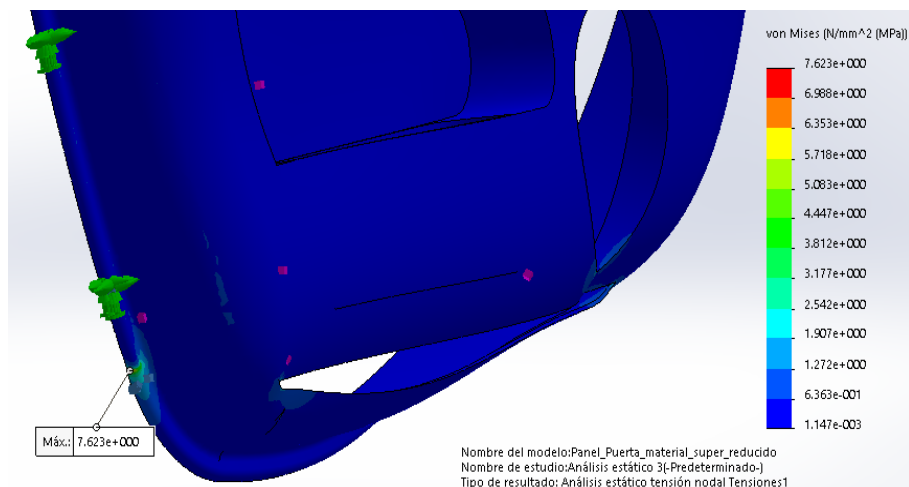


Figura 59.

Esfuerzo máximo de Von Mises con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm



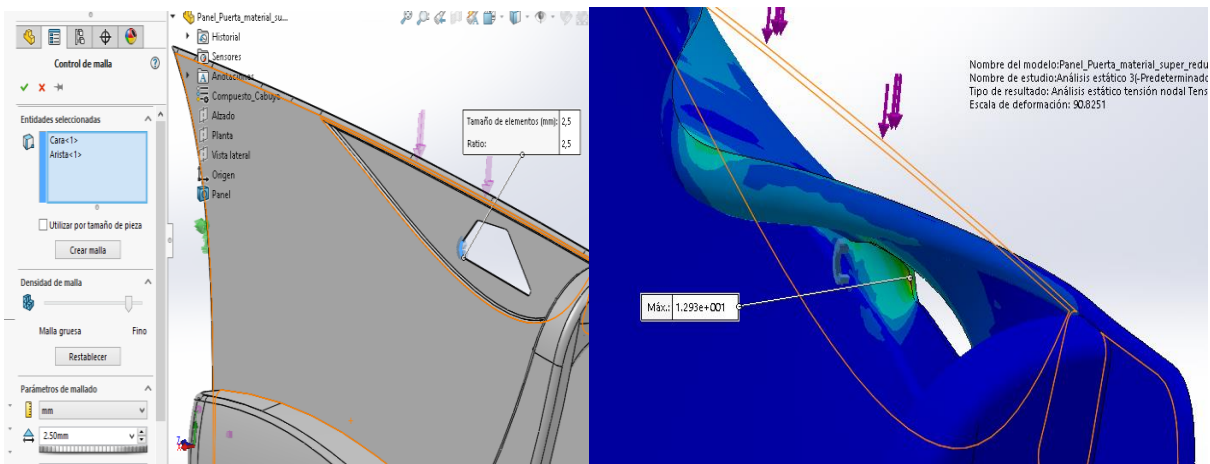
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 7,62 MPa ubicado en la parte baja del panel de compuerta en caso de estudio (Botonera/Asidero) con material de Fibra de Cabuya con la mejor disposición de Mallado

- Cintura Fibra de Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 12,93 MPa**)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 60.

Esfuerzo máximo de Von Mises en cintura Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm

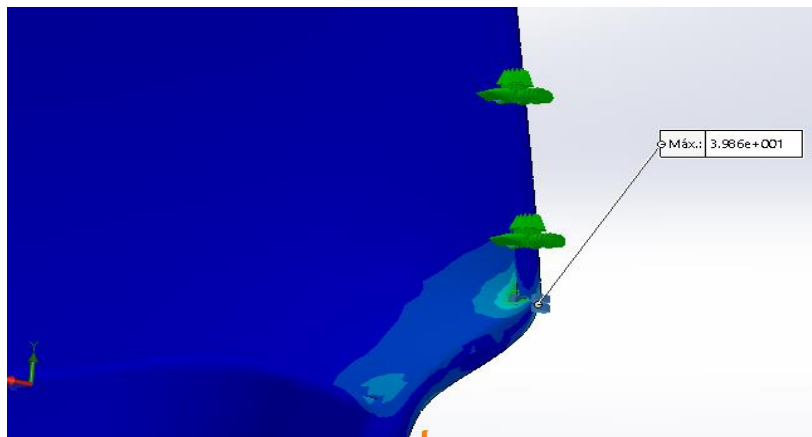


Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises de 12,93 MPa ubicado en ranura de manija de abrir/cerrar puerta para una carga de 300N ubicado en cintura para panel de Fibra de Cabuya.

- Cierre Puerta Fibra de Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises= 39,86 MPa**)

Figura 61.

Esfuerzo máximo de Von Mises Cierre Puerta Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm



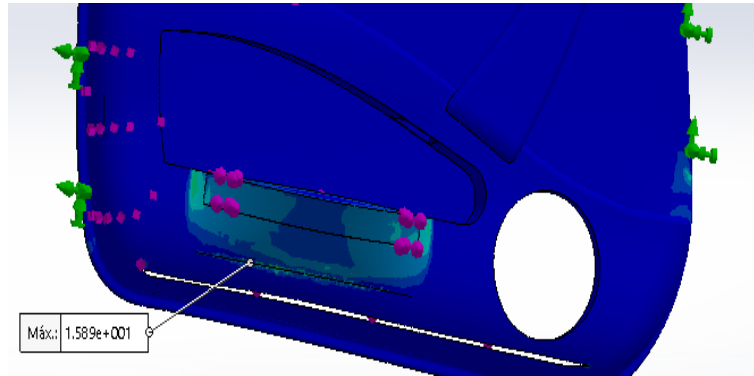
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 39,86 MPa ubicado en la parte lateral derecha del panel de compuerta por encima de altavoces con material de Fibra de Cabuya con una carga de 500 N al cerrar la puerta.

- Bolsa del Panel de compuerta del auto Fibra de Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises= 15,89 MPa**)

Figura 62.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa Cabuya con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm



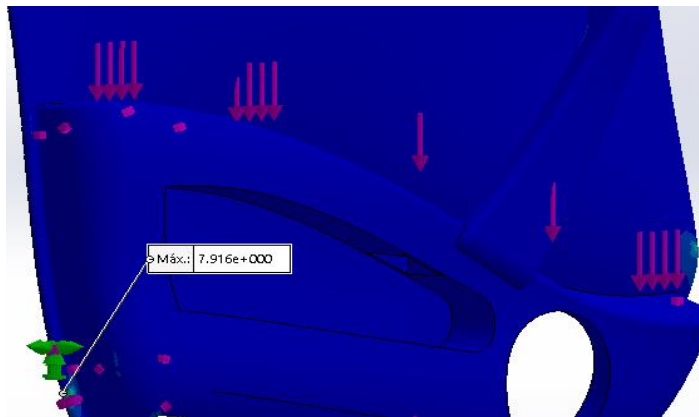
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 15,89 MPa ubicado en la parte baja de la bolsa, con material de Fibra de Cabuya con una carga de 200 N en la bolsa del panel.

3.6.4. Análisis de Von Mises Solid Works (Material Original ABS).

- Botonera / Asidero Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 7,91 MPa**)

Figura 63.

Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Botonera-Asidero ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm



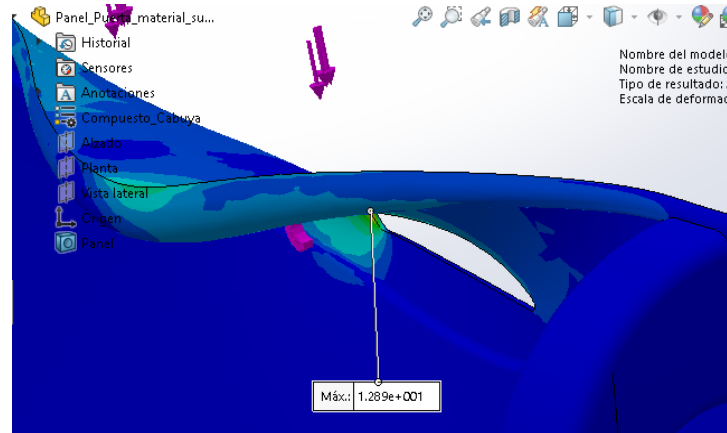
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 7,91 MPa ubicado en la parte baja del panel de compuerta en caso de estudio (Botonera/Asidero) con material de ABS con la mejor disposición de Mallado.

- Cintura Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 12,89 MPa**)

Figura 64.

Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Cintura ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

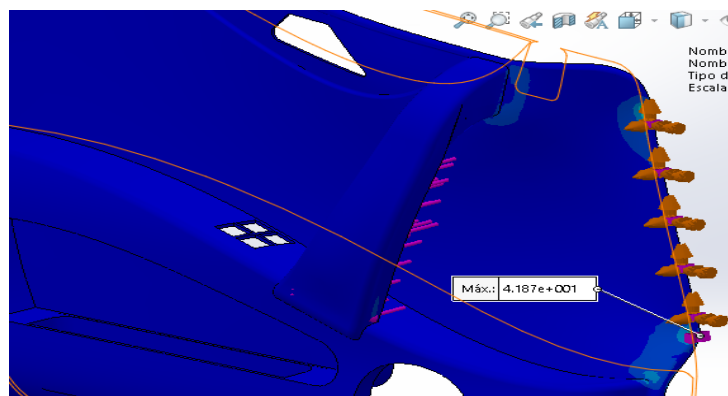


Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises de 12,89 MPa ubicado en ranura de manija de abrir/cerrar puerta para una carga de 300N ubicado en cintura para panel de ABS.

- Cierre Puerta Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 41,87 MPa**)

Figura 65.

Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa (Cierre Puerta ABS) tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm



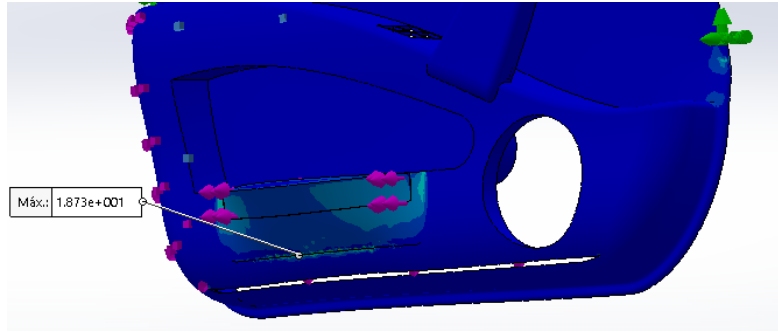
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 41,87 MPa ubicado en la parte lateral derecha del panel de compuerta por encima de altavoces con material de ABS con una carga de 500 N al cerrar la puerta.

- Bolsa del Panel de compuerta del auto Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 18,73 MPa**)

Figura 66.

Esfuerzo máximo de Von Mises Bolsa Material ABS con tamaño de malla de segundo refinamiento de 2,5 mm

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO



Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 18,73 MPa ubicado en la parte baja de la bolsa, con material de ABS con una carga de 200 N en la bolsa del panel.

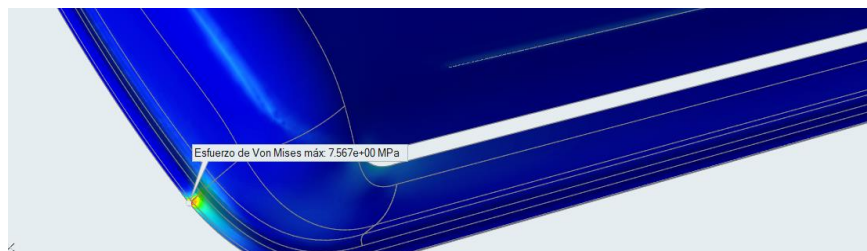
3.6.5. Análisis de Von Mises Altair Inspire (Fibra de Cabuya).

Como tamaño de malla utilizado para el apartado de análisis de esfuerzos se considera el mismo tamaño de malla utilizado para el apartado de análisis de deformación esto debido a que se tiene un tamaño de malla de 0,23 cm que es muy fina en todo el panel de la puerta con la cual ya se está considerando el refinamiento si se lo compara con el segundo refinado de malla en Solid Works con un tamaño de 0,25 cm, teniendo una ventaja de dicho software al no tener una limitante en el tamaño de malla y aumento de nodos aunque esto se da a expensas del poder computacional del ordenador ya que con un mallado súper fino se tiene simulaciones muy lentas con consumo de mucho poder computacional.

- Botonera / Asidero Material Fibra Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 7,56 MPa**)

Figura 67.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Botonera-Asidero Fibra Cabuya)



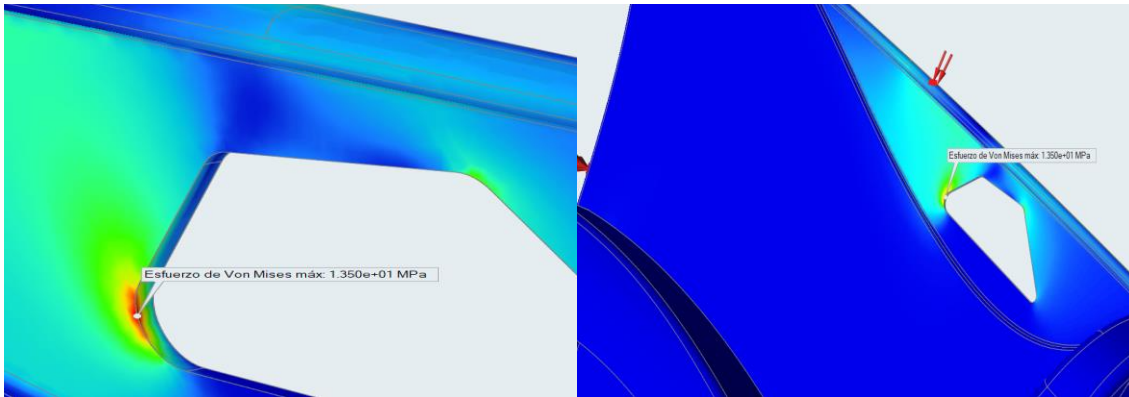
SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 7,56 MPa ubicado en la parte baja del panel de compuerta en caso de estudio (Botonera/Asidero) con material de Fibra de Cabuya con una carga de 500 N.

- Cintura Material Fibra Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 13,5 MPa**)

Figura 68.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cintura Fibra Cabuya)

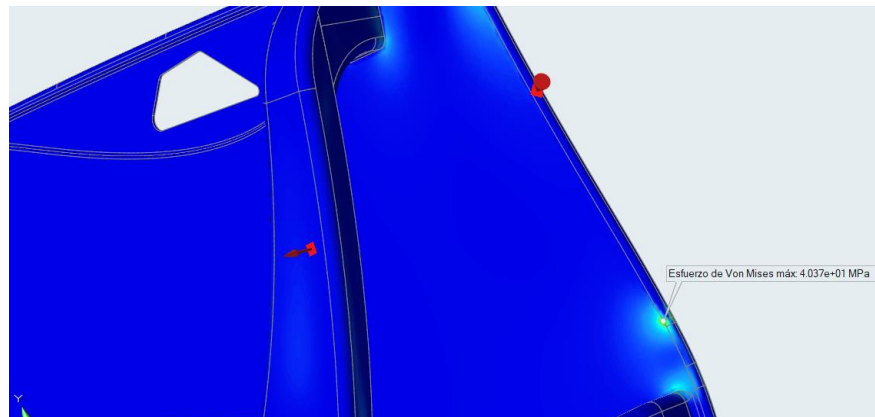


Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises de 13,5 MPa ubicado en ranura de manija de abrir/cerrar puerta para una carga de 300N ubicado en cintura para panel de Fibra de Cabuya.

- Cierre Puerta Fibra Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 40,37 MPa**)

Figura 69.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cierre Puerta Fibra Cabuya)



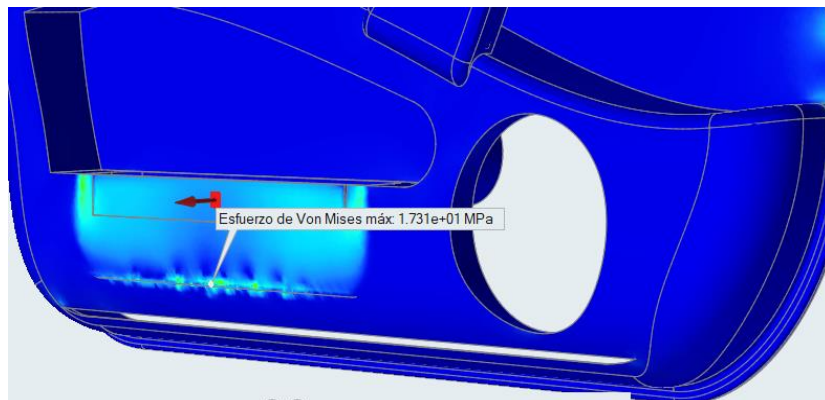
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 40,37 MPa ubicado en la parte lateral derecha del panel de compuerta por encima de altavoces con material de Fibra de Cabuya con una carga de 500 N al cerrar la puerta.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Bolsa del Panel de compuerta del auto Material Fibra Cabuya (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 17,31 MPa**)

Figura 70.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Bolsa Panel Fibra Cabuya)



Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 17,31 MPa ubicado en la parte baja de la bolsa, con material de Fibra de Cabuya con una carga de 200 N en la bolsa del panel.

3.6.6. Análisis de Von Mises (Material ABS)

- Botonera / Asidero Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 7,6 MPa**)

Figura 71.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Botonera-Asidero Material ABS)



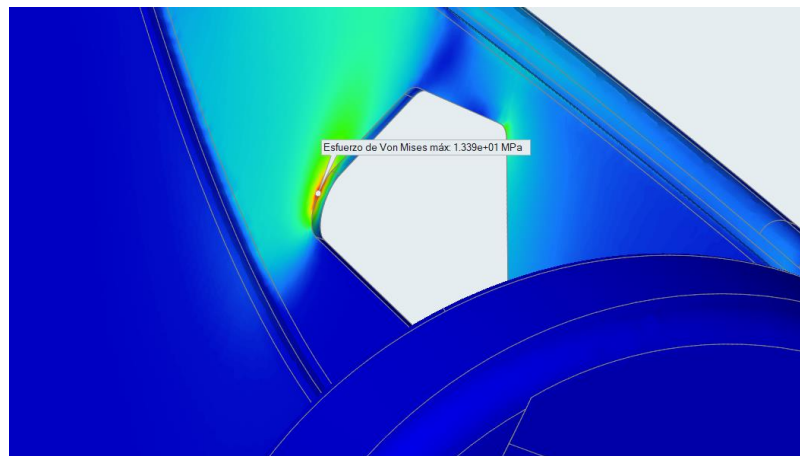
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 7,6 MPa ubicado en la parte baja del panel de compuerta en caso de estudio (Botonera/Asidero) con material de ABS con una carga de 500 N.

- Cintura Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 13,39 MPa**)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 72.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cintura Material ABS)



Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises de 13,39 MPa ubicado en ranura de manija de abrir/cerrar puerta para una carga de 300N ubicado en cintura para panel de ABS.

- Cierre Puerta Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 41,6 MPa**)

Figura 73.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Cierre Puerta Material ABS)



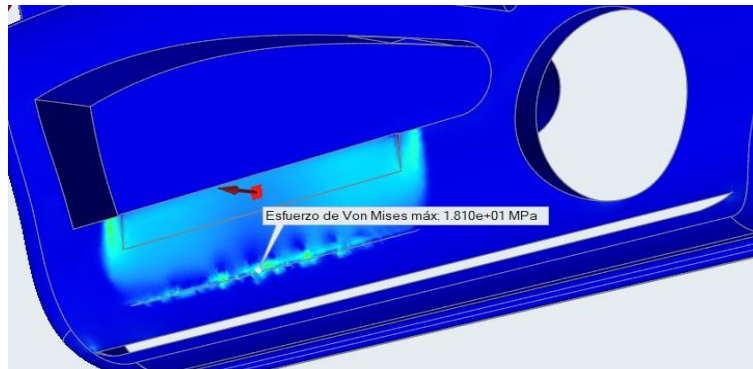
Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 41,6 MPa ubicado en la parte lateral derecha del panel de compuerta por encima de altavoces con material de ABS con una carga de 500 N al cerrar la puerta.

- Bolsa del Panel Material ABS (**Esfuerzo Máximo de Von Mises = 18,1 MPa**)

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

Figura 74.

Esfuerzo Máximo Von Mises Inspire (Bolsa del Panel Material ABS)



Nota. Esfuerzo Máximo de Von Mises con valor de 18.1 MPa ubicado en la parte baja de la bolsa, con material de ABS con una carga de 200 N en la bolsa del panel.

3.7. Análisis de Frecuencia.

Dicho análisis se lo realiza con la finalidad de conocer el comportamiento del panel de la compuerta del auto a distintos modos de vibrar, esto debido a que se puede generar el fenómeno de resonancia por las vibraciones externas a las cuales está funcionando el motor de combustión o a su vez por las consideraciones ambientales al momento de utilizar el vehículo lo cual es importante considerar previo a un análisis de diseño, con dicho concepto se procede al análisis modal en nueve modos de frecuencia que puede encontrarse el panel del vehículo teniendo así:

3.7.1. Análisis de Frecuencia en Solid Works (Fibra de Cabuya)

Figura 75.

Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel Fibra Cabuya (Solid Works)

Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 2			
Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	206.67	26.329	0.030402
2	246.24	39.191	0.025516
3	314.36	50.032	0.019987
4	384.92	61.262	0.016323
5	519.25	65.501	0.012101
6	604.21	96.164	0.010399
7	631.78	100.55	0.009453
8	788.71	106.53	0.0079665
9	815.04	129.72	0.007709

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

3.7.2. *Análisis de Frecuencia en Solid Works (Material ABS)*

Figura 76.

Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Material ABS (Solid Works)

Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 2			
Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	159.56	25.395	0.039378
2	190.23	30.276	0.03303
3	243.56	38.764	0.025797
4	296.74	47.227	0.021174
5	400.76	63.782	0.015678
6	465.54	74.093	0.013497
7	487.75	77.628	0.012882
8	610.83	97.216	0.010286
9	628.13	99.97	0.010003

3.7.3. *Análisis de Frecuencia Altaír Inspire (Fibra Cabuya)*

Figura 77.

Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel Fibra Cabuya (Altaír Inspire)

Modos:	
2 - F =	36.7411 Hz
1 - F =	23.2815 Hz
F 2 - F =	36.7411 Hz
3 - F =	48.0451 Hz
4 - F =	53.9336 Hz
5 - F =	68.1961 Hz
6 - F =	89.5721 Hz
7 - F =	92.216 Hz
8 - F =	99.3246 Hz
9 - F =	119.987 Hz

3.7.4. *Análisis de Frecuencia Altaír Inspire (Material ABS)*

Figura 78.

Análisis de Frecuencia en los nueve modos de vibrar para Panel ABS (Altaír Inspire)

Modos:	
1 - F =	24.5754 Hz
1 - F =	24.5754 Hz
F 2 - F =	29.7318 Hz
3 - F =	38.661 Hz
4 - F =	46.5797 Hz
5 - F =	62.8766 Hz
6 - F =	72.5003 Hz
7 - F =	74.9486 Hz
8 - F =	95.8272 Hz
9 - F =	98.5341 Hz

CAPÍTULO IV

4. Análisis y discusión de resultados.

Los métodos MCDM que se emplearon en la presente investigación permitieron una selección objetiva para el mejor material dentro de un conjunto de investigaciones previas sobre caracterización de materiales compuestos de fibra vegetal con matriz del tipo poliéster y estratificación manual, siendo así el material compuesto “Fibra de Cabuya” la mejor opción dentro del grupo de materiales propuestos presentando mejores ponderaciones en criterios como densidad, costo, resistencia a la tracción y flexión, corroborando junto con otros autores como (Vaca et al., 2020) en donde utilizan los métodos multicriterio para la selección de materiales de un engranaje helicoidal para una caja de cambios y (Pasantez, 2019) en la selección de métodos MCDM para la selección de materiales para la manija de la compuerta interna de un automóvil, la ventaja de uso de este tipo de métodos MCDM, además de su robustez y criterio objetivo para la selección de la mejor opción, especialmente enfocado en la selección de materiales esto debido a como lo manifiesta (Ashby, 2014) en su libro el campo de la selección de materiales es un apartado complejo en donde se debe de considerar múltiples variables y en la cual la objetividad del seleccionador es de suma importancia. Teniendo así al Material Compuesto de Fibra de Cabuya como ganador al presentar los mejores resultados en la selección con el método (Vikor, Topsis y Copras).

En la Tabla 41, se presenta un resumen de resultados en donde se compara tanto deformación máxima del panel de la compuerta interna de un auto al ser sometido a diferentes tipos de carga en zonas importantes, como un resumen de resultados de análisis de falla por Von Mises aplicado a los mismos casos de carga, en donde se puede visualizar la comparativa del material propuesto junto con el material original Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), visualizándose

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

que el material compuesto de Fibra de Cabuya presenta excelentes resultados en simulación computacional esto debido a que presenta valores bajos en comparativa con el material original ABS tanto en deformación máxima como en Esfuerzo de Von Mises, corroborando así el uso de materiales compuestos para el sector de interiores en el campo automotor esto debido a que en investigaciones como (Witayakran et al., 2017) manifiestan el uso de fibra y polvo vegetal como sustituto potencial para autopartes interiores las cuales no están sometidos a grandes cargas, además de presentarse en otros autores como (Pradeep, 2018) la aplicabilidad de materiales compuestos con refuerzo polimérico en paneles internos de la compuerta de un auto, con lo cual hace ideal al material compuesto con fibra de Cabuya un sustituto al material tradicional ABS por tener también valores de deformación por debajo de lo permisible según estudios dados por (Obis, 2015) y (Pradeep, 2018) los cuales afirman valores de deformación permisible por debajo de 4 mm para paneles internos de automóviles, cabe señalar también que en ambos casos los esfuerzos máximos de Von Mises están por debajo del esfuerzo máximo del material lo cual en ambos casos se tiene que el material no llega a fallar y se encuentra en su zona elástica dentro de la curva esfuerzo deformación.

Tabla 41

Resumen Resultados

Casos de Estudio	Material Compuesto de Fibra de Cabuya						Material Original ABS					
	Deformación (mm)			Esfuerzo de Von Mises (MPa)			Deformación (mm)			Esfuerzo de Von Mises (MPa)		
	Altair	Solid Works	CV (%)	Altair	Solid Works	CV (%)	Altair	Solid Works	CV (%)	Altair	Solid Works	CV (%)
<i>Cintura</i>	1,3	1,29	0,8	13,5	12,93	4,22	2,28	2,2	3,5	13,39	12,89	3,73
<i>Botonera/Asidero</i>	0,7	0,64	8,6	7,56	7,62	0,79	1,2	1,082	9,8	7,6	7,91	4,08
<i>Cierre Puerta</i>	1,6	1,634	2,1	40,37	39,86	1,26	3	2,78	7,3	41,6	41,87	0,65
<i>Bolsa</i>	1,75	2,05	14,6	17,3	15,89	8,15	2,72	2,64	2,9	18,1	18,73	3,48

Nota: Comparativa de los resultados obtenidos, donde CV es el coeficiente de variación de los mismos.

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

De la misma manera en la Tabla 42, se puede visualizar un resumen de los nueve modos de vibrar de la compuerta del vehículo (Hz), junto con su coeficiente de variación de resultados que es menor al 15 % comparada con el software Solid Works y Altair Inspire, con dicho análisis modal se puede observar las distintas frecuencias naturales que presenta el panel, las cuales dependen del material y de la forma del objeto, siendo un parámetros fundamental al momento de considerar un diseño debido a que se quiere evitar que el componente entre en resonancia al igualar su frecuencia natural con la del medio, la cual va a depender de vibraciones externas como el encendido del motor o incluso vibraciones del medio por la circulación del vehículo, de manera general en los nueve modos de vibrar del panel se tiene deformación por flexión en la parte media, superior y baja del mismo siendo así las zonas como la cintura y la parte baja de soporte de bolsa las más comprometidas al vibrar en estos modos de frecuencia, lo cual se contrasta con el estudio de (Hanouf, Faris, & Nor, 2014) en el cual realizan una comparativa de un análisis de frecuencia con elementos finitos (FEM) y un método experimental para el caso y los paneles de las compuertas internas de un automóvil, en donde se tiene 10 modos de vibrar, con lo cual se tiene en los primeros 9 modos frecuencias naturales para los paneles frecuencias que van desde 20 Hz hasta los 120 Hz en promedio para un análisis FEM lo cual es comparable con la presente investigación.

Tabla 42

Resumen de Resultados de Frecuencia en los nueve modos de vibrar del panel.

Frecuencia (Hz) Fibra Cabuya				Frecuencia (Hz) ABS			
Modos	Altair	Solid Works	CV (%)	Modos	Altair	Solid Works	CV (%)
1	23,28	26,32	11,55	1	24,5	25,3	3,16
2	36,74	39,1	6,04	2	29,73	30,27	1,78
3	48,05	50	3,90	3	38,6	38,7	0,26
4	53,93	61,1	11,73	4	46,5	47,2	1,48
5	68,19	65,501	4,11	5	62,8	63,7	1,41

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

6	89,57	96,1	6,80	6	72,5	74,02	2,05
7	92,21	100,5	8,25	7	74,6	77,6	3,87
8	99,32	106,53	6,77	8	95,8	97,2	1,44
9	119,98	129,2	7,14	9	98,53	99,97	1,44

Nota: Resumen de resultados del análisis de frecuencia del elemento donde CV es el porcentaje del coeficiente de variación de la comparativa de los mismos.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones.

- La revisión bibliográfica de literatura empleada con la metodología prisma permitió conocer la gran cantidad de artículos científicos sobre caracterización mecánica de materiales compuestos con fibra o polvo vegetal que existe en Ecuador, con lo cual la medida de dar un carácter de aplicabilidad a dichos estudios en la implementación industrial es de carácter imperativo, debido a la gran ventaja territorial que presenta el país por su clima variado y gran cantidad de especies del tipo Vascular endémicas de la región, dando a conocer que en muchos casos se da poco o un nulo valor agregado a la parte fibrosa de la planta al ser considerada como un desperdicio.
- Los métodos multicriterios MCDM que se utilizaron en la presente investigación permitieron la selección de un material adecuado para emplearlo en la elaboración de una autoparte específicamente los paneles internos de la compuerta de un vehículo, con lo cual se utilizó una ponderación objetiva y de carácter cuantitativo en la selección de la ponderación de pesos por el método de la Entropía y mediante la aplicación de los métodos Topsis, Vikor y Copras el mejor material compuesto es el de refuerzo con Cabuya y matriz tipo poliéster por presentar mejores características tanto en costo, propiedades mecánicas y baja densidad, criterios complejos de evaluar con un número alto de candidatos siendo problemas complejos de selección que se adaptan de manera fácil y sencilla a los criterios MCDM para la selección objetiva de los materiales.
- La aplicabilidad del material compuesto reforzado con fibra de Cabuya se contrasta en los resultados obtenidos en la simulación estática, esto debido a que en todos los casos

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

de carga en los cuales se concentra una fuerza estática se tiene valores de deformación máxima por debajo de los valores permisibles, además de considerar que se tiene resultados de Von Mises por debajo de su esfuerzo máximo con los cual en un criterio de falla el material trabaja en condiciones óptimas de diseño dentro de su zona elástica que comparados con el material original que son elaborados dichas autopartes (ABS) tiene un mejor resultado tanto en análisis estático de deformación, como en criterio de falla de Von Mises.

- Al realizar una validación de resultados de simulación entre dos softwares de simulación estática que para la presente investigación es (Solid Works y Altair Inspire) se puede corroborar que con un adecuado tratamiento de malla y una consideración de refinamiento de malla en zonas de acción de carga se puede lograr obtener coeficientes de variación por debajo del 15 % lo cual hace que dichos resultados sean viables y puedan ser acertados para una comparativa con un análisis estático en condiciones reales, lo cual entrega una idea clara de cómo se comportará el material al ser sometido en condiciones reales de operación.

CAPÍTULO VI

6. Referencias Bibliográficas.

Ajorloo, M., Ghodrat, M., & Kang, W. H. (2021). Incorporation of Recycled Polypropylene and

Fly Ash in Polypropylene-Based Composites for Automotive Applications. *Journal of*

Polymers and the Environment, 29(4), 1298–1309. <https://doi.org/10.1007/s10924-020->

01961-y

Al-Oqla, F. M., Omari, M. A., & Al-Ghraibah, A. (2017). *Predicting the potential of biomass-*

based composites for sustainable automotive industry using a decision-making model.

Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials: Processing, Properties and

Applications. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100959-8.00003-2>

Alean, J. D., Gutiérrez, G. A., Chejne, F., & Bastidas, M. J. (2009). Simulación de una torre de

enfriamiento mecánica comparada con curvas experimentales. *Informacion Tecnologica*,

20(3), 13–18. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4107it.08>

Altair. (2021). Altair SimSolid | Fast and Accurate Structural Analysis for Rapid Design

Iterations. Retrieved July 1, 2021, from <https://www.altair.com/es/trysimsolid/>

Alvarez, M. P. H. (2015). *Obtencion de materiales Compuestos de matriz polimerica formulados*

incorporando tejidos y no tejidos de fibras naturales. Tesis. ESCUELA POLITÉCNICA

NACIONAL.

Ashby, M. F. (2014). *Materials selection in mechanical design. Lecture Notes in Mechanical*

Engineering (Third Edit, Vol. 3). ELSIERVIER. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05203->

8_21

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

- Borque, A. M., & López, M. N. (2007). *Materiales de Última Generación y Materiales Eficientes : Materiales Compuestos - Composites*. *Junio*, 2, 37.
- Bravo, B., & Giovanni, C. (2018). *INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Castellanos, C. L. M. ; D. (2018). *Static Analysis of the Elements of the Suspension of an Electric Formula Type Single-Seater Car*. *Ingenio Magno*, 2, 17.
- Castiblanco, A. M. A. (2017). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO RESINA POLIÉSTER - FIBRA DE PIÑA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Cesar, F. J., & Daniel, M. E. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA TEJIDA DE BANANO*. Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>
- Cunalata Sánchez, E. F., & Jiménez Abarca, C. A. (2019). *Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión*. Escuela Politécnica Nacional.
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*. Quito.
- DÍAZ, L. M. (2019). *“ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN*

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

*INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS PARA
CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO. ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.*

FMVSS. (2018). Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations. Retrieved May 7, 2021, from <https://one.nhtsa.gov/cars/rules/import/FMVSS/#SN214>

Gomez Berrezueta, M. F., & Méndez, P. W. (2017). Polipropileno Reforzado con Fibra Natural para Fabricación de Paneles Internos de las Puertas de un Automóvil. *INNOVA Research Journal*, 2(10.1), 109–137. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n10.1.2017.569>

Groover, M. (2010). *Fundamentos de manufactura moderna* (Third Edit). Michigan. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=tcV0I37tUr0C&oi=fnd&pg=PR13&dq=libro+de+materiales+compuestos&ots=7_Mub_buSw&sig=PdOsloUUYfhUcZYexENGFCdcrXo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Guerrero, V., Pontón, P., Tamayo, A., Villacís, H., Delgado, F., & Galeas, S. (2013). Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 8(1), 70–74.

Hanouf, Z., Faris, W. F., & Nor, M. J. M. (2014). Dynamic characterization of car door and hood panels using FEA and EMA. *Applied Mechanics and Materials*, 471, 89–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.471.89>

Hh, T. (2005). Terluran ® HH-106 (ABS). *BASE*, (Data Sheet), 2.

Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

applications. *Jom*, 58(11), 80–86. <https://doi.org/10.1007/s11837-006-0234-2>

Jordán, A. R., & Paute, T. del R. (2019). Universidad De Guayaquil Tutor: *Universidad de Guayaquil*, 83. Retrieved from http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41488/1/T-ZAMBRANO_ZAMBRANO JOSSELYN JAMILE.pdf

Leguisamo, Á. R. ; J. (2019). Análisis Topológico mediante el Método de Elementos Finitos del Chasis de una Motocicleta de competencia. *Scielo*, 1, 17. Retrieved from http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000300081

MAGAP. (2019). MAG incentiva producción de coco – Ministerio de Agricultura y Ganadería. Retrieved May 6, 2021, from <https://www.agricultura.gob.ec/mag-incentiva-produccion-de-coco/>

Majewski, T., & Błędzki, A. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. *Memorias Del Xix Congreso Internacional Anual De La Somim*, 676–682.

Mata, F. (2004). Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles. *Técnica Industrial*, 254, 43–47.

Moreano, D. J., & Zambrano, D. A. (2016). *Diseño y Construcción de Parachoque Delantero y Posterior de un vehículo Chevrolet optra año 2008 a partir de fibra Natural de planta de Abacà*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Nicolalde, J. F. (2018). *Caracterización de la fibra natural de mocora para refuerzo de un material compuesto de resina poliéster insaturado para aplicaciones automotrices y*

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER, PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

aeroespaciales. Universidad Internacional SEK. Retrieved from

<http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3142>

Obis, R. (2015). *Soluciones técnicas en la construcción de revestimientos internos de puerta de un automóvil*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.

Ortíz, G. E. M. (2017). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES*. *Repo.Uta.Edu.Ec*.

Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=>

3

Pasantez, A. E. A. (2019). *Universidad Internacional SEK. Panorama*. Universidad Internacional SEK.

Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades Mecánicas De Compuestos Biodegradables Elaborados a Base De Ácido Poliláctico Reforzados Con Fibras De Abacá. *Revista Epn*, 33(2).

Por, D., & De, A. (2007). Botánica Económica de los Andes Centrales. *Ecología En Bolivia*, 42(1), 77–78.

Pradeep, S. A. (2018). Aplicaciones Automotrices de plástico. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 1(1), 9–11. <https://doi.org/10.35454/rncm.v1n1.070>

Pradeep, S. A., Iyer, R. K., Kazan, H., & Pilla, S. (2017). Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials*,

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

and Applications: Second Edition, 23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00031-6>

Restrepo, S. V., Arroyave, G. P., & Vásquez, D. G. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos Use of vegetable fibers in polymer matrix composites : a review, 77–86.

Roxana Elizabeth Valencia Navarrete. (2019). *Universidad Internacional SEK. Panorama.*

Universidad Internacional SEK.

Sileoni, A. E., Abrile, M. I., & Almandoz, R. (2011). Materiales y Materias Primas. *Encuentro*, 2, 34.

SolidWorks.Corps. (2019). Soporte y Ayuda de SOLIDWORKS. Retrieved August 2, 2021,

from

https://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Mesh_Control_Parameters.htm

Taborda-Rios, J. A., Cañas-Mendoza, L. A., & Trisancho-Reyes, J. L. (2017). Comparative study of the mechanical properties of the polyester resin reinforced with bamboo fiber as the substitute material fiberglass | Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material . *DYNA (Colombia)*, 84(202), 35–41.

Tamayo, N. A. (2012). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación.* ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Vaca, C., Martínez, J., & Leguísamo, J. (2020). Selección de materiales mediante uso de

SELECCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL Y MATRIZ POLIÉSTER,
PARA LOS PANELES INTERNOS DE LA COMPUERTA DELANTERA DE UN VEHÍCULO

multicriterio aplicado a un engranaje helicoidal de la caja de cambios de Dmax 3.0.

CienciAmérica, 9(1), 34. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i1.171>

Velilla, W., & Mendoza, R. (2015). Análisis estructural mediante simulación IAO en una estructura de carga y su validación. *Inge Cuc*, 8(1), 231–240.

Witayakran, S., Smitthipong, W., Wangpradid, R., Chollakup, R., & Clouston, P. L. (2017).

Natural Fiber Composites: Review of Recent Automotive Trends. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.04180-1>